สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata* ระยะวัยรุ่น

นางสาวชิดชนก รอดเรือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPTIMAL PROTEIN TO ENERGY RATIO FOR GROWTH OF JUVENILE SPOTTED BABYLON, *Babylonia areolata*

Miss Chidchanock Rodruang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Marine science

Department of Marine Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata* ระยะวัยรุ่น
โดย	นางสาวชิดชนก รอดเรือง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์ทางทะเล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เจริญ นิติธรรมยง)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร. นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณพ วิยกาญจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร. อรพร หมื่นพล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชิดชนก รอดเรือง : สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata* ระยะวัยรุ่น (OPTIMAL PROTEIN TO ENERGY RATIO FOR GROWTH OF JUVENILE SPOTTED BABYLON, *Babylonia areolata*) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์, 62 หน้า.

ศึกษาสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวาน *Babylonia areolata* ระยะวัยรุ่นเพื่อการเติบโตสูงสุด ออกแบบการทดลองแบบสุ่มตลอดที่เป็น 3x3 factorials โดยอาหารที่ใช้มีโปรตีน 3 ระดับคือ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับพลังงาน 3 ระดับคือ 3.8, 4 และ 4.2 กิโลแคลอรีต่อกรัม ทดลองโดยเลี้ยงหอยหวานระยะวัยรุ่นขนาดความยาวเปลือกเฉลี่ย 1.1 ± 0.1 เซนติเมตร และน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.2 ± 0.1 กรัม ด้วยอาหารทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ โดยเลี้ยงหอยหวานในตะกร้าขนาด 22x28.5x20 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีทรายรองไว้ที่พื้นตะกร้า และเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิดที่มีการหมุนเวียนน้ำผ่านระบบเลี้ยงตลอดเวลา ที่ความหนาแน่น 30 ตัวต่อตารางเมตรทำ 4 ซ้ำต่อสูตรอาหารทดลอง ผลการศึกษาพบว่าโปรตีนและระดับพลังงานในอาหารมีปฏิสัมพันธ์กับการเติบโตของหอยหวาน หอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองสูตรที่มีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน 35:4 มีอัตราการเติบโตสูงสุดและแตกต่างจากหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีน 40 ที่ระดับพลังงาน 3.8 และ 4.2 อย่างมีนัยสำคัญ และอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีน 45 เปอร์เซ็นต์ ที่ทุกระดับพลังงาน และอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนต่ำและพลังงานต่ำ (35:3.8) ให้การเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักต่ำกว่าอาหารทดลองในสูตรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ พบว่าที่โปรตีนมากกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ พลังงานทุกระดับที่ศึกษาไม่มีผลต่อการเติบโต อาหารทุกสูตรให้อัตราการรอดของหอยหวานไม่แตกต่างกัน การคำนวณสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในอาหารของหอยหวานเพื่อการเติบโตพบว่าหอยหวานมีการเติบโตสูงสุดเมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่มีโปรตีน 38.4 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 4.08 กิโลแคลอรีต่อกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่อนิสิต .....
ภาควิชา วิทยาศาสตร์ทางทะเล ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2551 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

4972276723 : MAJOR MARINE SCIENCE

KEYWORDS : spotted babylon *Babylonia areolata*/ protein/ energy/ protein:energy ratio

CHIDCHANOCK RODRUANG : OPTIMAL PROTEIN TO ENERGY RATIO FOR GROWTH OF SPOTTED BABYLON, *Babylonia areolata*. ADVISOR : ASSOC. PROF. SOMKIAT PIYATIRATITIVORAKUL, Ph.D., CO-ADVISOR : NILNAJ CHAITANAWISUTI, Ph.D., 62 pp.

Optimal protein:energy ratio for growth of juvenile spotted babylon, *Babylonia areolata* was conducted using a completely randomized design involved 3x3 factorials. The experimental diet combinations were consisted of 3 levels of dietary protein (30, 40 and 45%) and 3 levels of dietary energy (3.8, 4.0 and 4.2 kilocalories per grams). Juveniles spotted babylon of average initial shell length of 1.1 ± 0.1cm and weight of 0.2 ± 0.1 g were fed the experimental diets for 16 weeks. Thirty spotted babylon were reared in a 22x28.5x20 cm^3 plastic basket provided with fine sand on the bottom and raised in a closed recirculating water system. Four replications of each experimental diet were conducted. The result indicated that protein and energy had an interaction on growth of juveniles spotted babylon. Spotted babylon fed 35:4.0 (protein:energy) diet gained maximum growth both in length and weight with significantly higher than those fed 40% protein at all levels of energy. Spotted babylon fed 45% protein at all energy levels and fed 35:3.8(protein:energy) had lowest growth. Moreover, at high protein diets, dietary energy levels did no show any significant difference on growth. Survival rate of spotted Babylon was not affected by protein and energy levels of the diets. A response surface analysis interpreted that protein to energy ratio for maximal growth of spotted babylon was 38.4 % protein and 4.08 Kcal/g.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : MARINE SCIENCE Student's Signature : .....

Field of Study : MARINE SCIENCE Advisor's Signature : .....

Academic Year : 2008 Co-Advisor's Signature : .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล ที่คอยให้คำแนะนำ เอาใจใส่ ให้กำลังใจทั้งเรื่องเรียนและเรื่องการทำวิจัย รวมทั้งการแนะนำเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย และช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ ที่ให้คำแนะนำในเรื่องการเลี้ยง การสนับสนุนลูกพันธุ์ รวมทั้งการช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เจริญ นิติธรรมยง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรณพ วิยกาญจน์ และดร.อรพร หมื่นพล สำหรับคำแนะนำต่างๆ ในการทำวิจัย และร่วมเป็นประธานและกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้ศึกษาที่สถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ต.อ่างศิลา อ.เมืองฯ จ.ชลบุรี ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่คอยให้ความช่วยเหลือขณะทำการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณเสรี ดอนเหนือ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดซื้อวัตถุดิบและให้คำแนะนำในการทำอาหารทดลอง รวมถึงพี่ๆ เพื่อนๆ ทุกคนในศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล ที่คอยถามไถ่และส่งกำลังใจให้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล ทั้งที่จบการศึกษาไปแล้วและที่ยังศึกษาอยู่ ที่คอยช่วยเหลือให้กำลังใจ และอยู่เป็นเพื่อนในเวลาทำวิจัยทั้งในและนอกสถานที่ และขอบคุณสัตว์ทดลองทุกๆ ตัวที่ต้องเสียสละชีวิตเพื่อการศึกษาในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่ที่คอยให้ทั้งกำลังใจ เอาใจใส่และห่วงใยสุขภาพตลอดเวลา ตลอดจนให้กำลังกายและกำลังทรัพย์เรื่อยมา จนจบการศึกษา และขอขอบคุณทุกๆ คน ในครอบครัวเชาวน์พัฒนพงศ์ที่คอยห่วงใย ถามไถ่เสมอมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ญ

บทที่

1 บทนำ.....1

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3

3 วิธีดำเนินการวิจัย.....12

3.1 สถานที่วิจัย.....12

3.2 การวางแผนการทดลอง.....12

3.3 หน่วยทดลองและระบบเลี้ยง..... 12

3.4 สัตว์ทดลอง.....15

3.5 อาหารทดลอง.....16

3.6 การทดสอบการคงสภาพของอาหารทดลองในรูปร่างต่างๆ.....18

3.7 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง.....18

3.8 การเก็บข้อมูล ประเมินผล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ.....18

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....20

4.1 ผลการทดสอบการคงสภาพของอาหารในรูปร่างที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ.....20

4.2 ผลของโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน.....22

4.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) อัตรารอดตาย (survival) และอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) 26

4.4 สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของหอยหวาน...28

4.5 คุณภาพน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงหอยหวานในระบบหมุนเวียน ในช่วงเดือนมีนาคม ถึง เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551.....30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า
5 อภิปรายผลการวิจัย.....32
6 สรุปผลการวิจัย.....36
7 ข้อเสนอแนะ.....38
รายการอ้างอิง……..……...……....39
ภาคผนวก……...…….……..44
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร.....	17
4-1	การเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....	23
4-2	การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....	25
4-3	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) อัตรารอด อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) เมื่อสิ้นสุดการทดลองของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง.....	27
4-4	คุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์.....	31
ภาคผนวก ข-1	ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานทั้ง 9 ชุดการทดลองในสัปดาห์เริ่มต้น.....	52
ภาคผนวก ข-2	ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานทั้ง 9 ชุดการทดลองเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์.....	54
ภาคผนวก ข-3	ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานทั้ง 9 ชุดการทดลองเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 8 สัปดาห์.....	56
ภาคผนวก ข-4	ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานทั้ง 9 ชุดการทดลองเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 12 สัปดาห์.....	58
ภาคผนวก ข-5	ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานทั้ง 9 ชุดการทดลองเมื่อทำการเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์.....	60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	ลักษณะของหอยหวาน	3
2-2	วงจรชีวิตของหอยหวาน	4
2-3	ภาพแสดง proboscis ของหอยหวาน	5
2-4	แผนผังแสดงการเปลี่ยนแปลงโปรตีนภายในร่างกาย	8
2-5	การใช้พลังงานจากอาหารเพื่อกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายของสัตว์น้ำ	10
3-1	ตะกร้าที่ใช้เป็นหน่วยทดลอง	13
3-2	แผนผังระบบเลี้ยงหอยซึ่งเป็นระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด	13
3-3	ถังตกตะกอน ถังส่งน้ำและถังพักน้ำ	14
3-4	ถังเพาะเลี้ยง	14
3-5	ลักษณะตะกร้าที่วางลงในช่องเปิด	15
3-6	การวัดการเติบโตของหอยหวาน	15
3-7	ขั้นตอนการทำอาหาร	16
4-1	ลักษณะการคงสภาพของรูปร่างอาหารต่างๆ	21
4-2	ผลการทดสอบการคงสภาพอาหาร	21
4-3	การประเมินค่าสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมตอการเติบโตของหอยหวาน	29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หอยหวานเป็นสัตว์น้ำอีกชนิดที่ได้รับผลกระทบจากการทำประมงเกินขนาด (overfishing) เช่นเดียวกับปลาและกุ้ง (วารสารธุรกิจสัตว์น้ำ, 2552) เนื่องจากหอยหวานเป็นที่ต้องการบริโภคทั้งตลาดในประเทศและตลาดต่างประเทศ เช่น จีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน เป็นต้น โดยมีราคาขายประมาณ 200 – 500 บาทต่อกิโลกรัม ด้วยเหตุที่หอยหวานมีราคาสูงทำให้เกิดแรงจูงใจให้มีการทำประมงหอยหวานมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณหอยหวานในธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว ประกอบกับมีประเทศคู่แข่ง อย่างเช่นเวียดนาม ซึ่งมีราคาของหอยหวานที่ถูกกว่าของไทย จึงมีการศึกษาการเพาะเลี้ยงหอยหวาน ทั้งเพื่อฟื้นฟูทรัพยากรหอยหวานในธรรมชาติและเพื่อเพิ่มผลผลิตในเชิงพาณิชย์ ในปัจจุบันมีการเลี้ยงหอยหวานทั้งแบบเลี้ยงในถังไฟเบอร์กลาส กระบะพลาสติก บ่อปูนซีเมนต์ และในบ่อดินที่เคยเป็นนากุ้งมาก่อน (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์และศิรุยา กฤษณะพันธุ์, 2545; ลือชัย ดรุณชูและเกียรติศักดิ์ เสนะวีณิน, 2545) โดยที่นิยมเลี้ยงกันมี 2 ช่วงของระยะวงจรชีวิตคือ ตั้งแต่ฝักไข่จนถึงระยะวัยอ่อน (veliger larva) เพื่อนำไปอนุบาลสู่ระยะวัยรุ่น โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงคือแพลงก์ตอนพืช อีกช่วงระยะที่นิยมเลี้ยงคือระยะเริ่มลงเกาะ (early juvenile) จนถึงตัวเต็มวัย เพื่อนำไปเลี้ยงจนถึงขนาดที่ตลาดต้องการ โดยอาหารที่ใช้เลี้ยงหอยในช่วงระยะนี้ มีการศึกษาการใช้ทั้งปลาสด หมึก หอยแมลงภู่ หอยตลับ และกุ้งเปรียบเทียบกัน พบว่าปลาสด หอย และกุ้งให้การเติบโตไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (ลือชัย ดรุณชูและเกียรติศักดิ์ เสนะวีณิน, 2547) แต่ที่นิยมใช้ในฟาร์มทั่วไปคือปลาสด เนื่องจากหาซื้อได้ง่ายและมีราคาถูก แต่ข้อเสียของการใช้ปลาสดคือไม่สามารถควบคุมคุณภาพและคุณค่าทางโภชนาการของเนื้อปลาได้ ในบางฤดูกาลปลาสดขาดแคลนจากการทำประมง ทำให้ปลาสดมีราคาแพงขึ้น และหากเก็บปลาสดไว้ในปริมาณมากและเป็นเวลานาน โดยไม่มีการควบคุมการจัดเก็บเป็นอย่างดี อาจทำให้เกิดการเน่าเสียของปลาได้

ปัจจุบันจึงมีการศึกษาการใช้อาหารสำเร็จรูปในการเลี้ยงลูกหอยตั้งแต่ระยะเริ่มลงเกาะจนถึงระยะตัวเต็มวัย เพื่อเป็นการทดแทนปลาสดและยังสามารถเสริมคุณค่าอาหารให้แก่หอยหวานด้วย การผลิตอาหารสำเร็จรูปนั้นต้องใช้ความรู้ด้านโภชนศาสตร์เป็นความรู้พื้นฐานเพื่อศึกษาความต้องการสารอาหารที่เหมาะสมได้ โดยสารอาหารหลักคือโปรตีน เนื่องจากโปรตีนช่วยในกระบวนการเสริมสร้างการเติบโต การทำงานในระดับเซลล์ การซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย รวมทั้งเป็นแหล่งพลังงานสำรองแก่ร่างกาย ซึ่งสารอาหารหลักที่ให้พลังงานคือไขมัน โดยปกติสิ่งมีชีวิตต่างๆ ใช้พลังงานจากไขมันเป็นส่วนช่วยให้กิจกรรมต่างๆ ของร่างกาย เช่น การเติบโต

การซ่อมแซมส่วนต่างๆ การสืบพันธุ์ เป็นต้น (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542; วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541; Raymond et al., 2007) ดำเนินไปอย่างปกติ ถ้าร่างกายได้รับพลังงานจากไขมันไม่เพียงพอ แหล่งพลังงานสำรองจากโปรตีนจะถูกร่างกายดึงมาใช้ ส่งผลให้การเติบโตลดลงได้ ดังนั้นระดับโปรตีนและระดับพลังงานในอาหารที่สัตว์ได้รับเข้าไปต้องมีความสมดุลกัน งานวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งเน้นแนวคิดถึงการศึกษาสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในการผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับใช้เลี้ยงลูกหอยหวานในระยะวัยรุ่นให้มีการเติบโตสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาระดับความต้องการโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมที่หอยหวานนำไปใช้ในการเติบโต

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับหอยหวานในระยะวัยรุ่น โดยใช้อาหารทดลอง 9 ชุด ที่มีระดับโปรตีนแตกต่างกัน 3 ระดับ และมีพลังงานแตกต่างกัน 3 ระดับ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นความรู้ทางด้านการพัฒนาสูตรอาหารให้มีสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในการเลี้ยงหอยหวานต่อไปในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชีววิทยาของหอยหวาน

ลักษณะโดยทั่วไป

หอยหวานมีชื่อสามัญว่าหอยตุ๊กแก มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Babylonia areolata* หอยหวานอยู่ในไฟลัมมอลลัสกา (Mollusca) คลาสแกสโทรโพดา (Gastropoda) แฟมิลี่บัคซินิดี (Buccinidae) หอยหวานเป็นหอยทะเลฝาเดียวมีเปลือกค่อนข้างหนา ผิวเรียบ เปลือกมีพื้นสีขาวและมีแต้มสี่เหลี่ยมสีน้ำตาลดำขนาดใหญ่เรียงเป็น 3 แถวบนวงลำตัว (รูปที่ 2-1) บริเวณปลายสุดของส่วนเปลือกจะแหลม ขดเป็นเกลียว และมีร่องที่ไม่ลึกมากนัก ฝาปิด (operculum) เป็นรูปทรงไข่ที่สามารถปิดช่องเปิดลำตัวได้อย่างสนิท หอยหวานมีหนวด 1 คู่ และมีตา 1 คู่

รูปที่ 2 - 1 ลักษณะของหอยหวาน (www.rural.chula.ac.th)

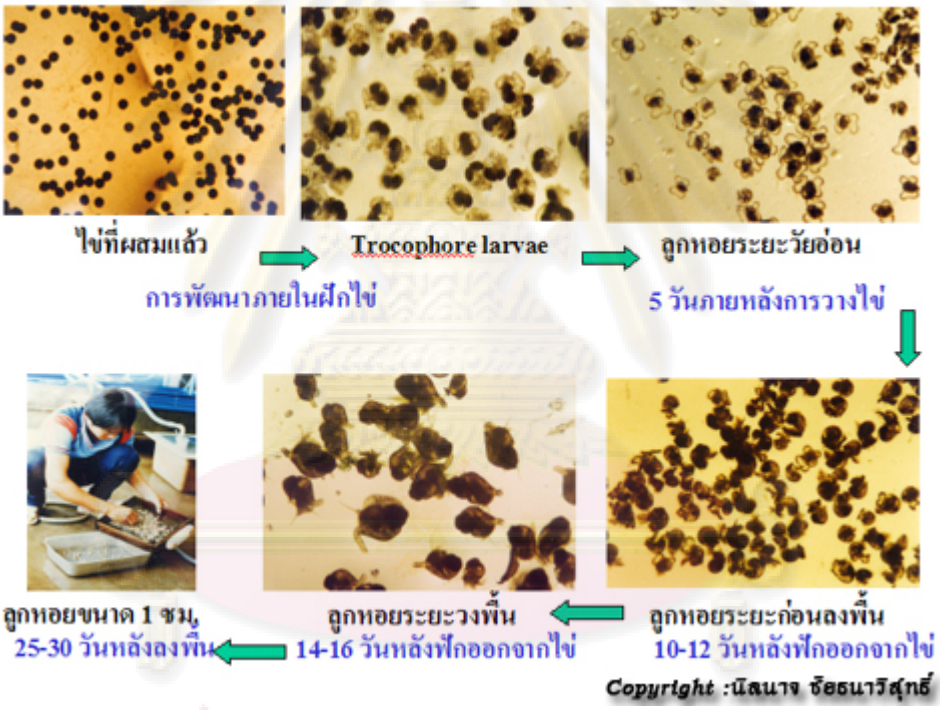
การกระจาย

หอยหวานอาศัยอยู่บริเวณพื้นทะเลที่เป็นทรายหรือทรายปนโคลนที่ระดับความลึกประมาณ 5 – 20 เมตร หอยหวานกระจายอยู่ทั่วไปบริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทย และทะเลอันดามัน ได้แก่ ระยอง จันทบุรี ตราด เพชรบุรี ประจวบคีรีขันธ์ สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช กระบี่ ระนอง และสตูล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วงจรชีวิต

วงจรชีวิตของหอยหวาน (รูปที่ 2-2) เริ่มจากไข่ที่ปฏิสนธิแล้ว (fertilized eggs) พัฒนาเป็นลูกหอยระยะพัฒนาที่เรียกว่า trocophore ภายในเวลา 24 ชั่วโมงหลังการวางไข่ ลูกหอยระยะนี้จะเจริญอยู่ภายในฝักไข่เป็นเวลาประมาณ 4-5 วันหลังจากวางไข่ หลังจากนั้นลูกหอยระยะวัยอ่อนที่เรียกว่า veliger จึงฟักออกจากฝักไข่และดำรงชีพแบบแพลงก์ตอนล่องลอยอยู่ในมวลน้ำ โดยลูกหอยระยะวัยอ่อนสามารถเจริญเข้าสู่ลูกหอยระยะลงพื้น (settled juveniles) ภายในเวลาประมาณ 14 – 16 วันลูกหอยระยะนี้มีเปลือกและรูปร่างสมบูรณ์เหมือนพ่อแม่ทุกประการและดำรงชีพด้วยการคืบคลานบนพื้นทะเล โดยหอยหวานสามารถเข้าสู่ระยะพร้อมที่จะผสมพันธุ์ (first maturity) ได้ที่ความยาวเปลือกประมาณ 3.6 เซนติเมตรหรืออายุประมาณ 6 เดือนหลังจากวางไข่

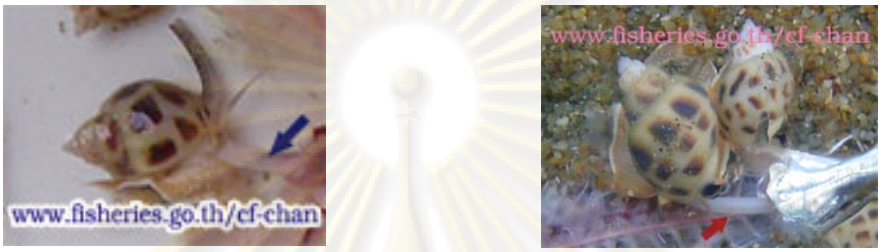


รูปที่ 2-2 วงจรชีวิตของหอยหวาน (www.cubabylonia.com)

อาหาร และการกินอาหาร

พฤติกรรมการกินอาหารของหอยหวานสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบตามช่วงชีวิตคือ ลูกหอยหวานระยะวัยอ่อนเป็นสัตว์ที่มีการดำรงชีวิตแบบแพลงก์ตอน (plankton) ล่องลอยอยู่ในมวลน้ำกินอาหารด้วยการกรอง (filter feeder) โดยลูกหอยมีอวัยวะคล้ายแปรงเป็นวงที่เรียกว่า velum สำหรับโบกพัดน้ำทะเลเข้าสู่ช่องปาก และกรองกินแพลงก์ตอนพืชเป็นอาหาร สำหรับลูกหอยหวานตั้งแต่ระยะลงพื้นจนถึงระยะตัวเต็มวัยเป็นสัตว์ที่มีการดำรงชีวิตบนพื้นทะเล โดยกินซากสัตว์ที่ตาย

แล้วเป็นอาหารทั้งในสภาพสดและไม่สด หอยหวานมีการกินอาหารแบบกลุ่มก้อน โดยหอยหวานมีต่อมน้ำลายสำหรับสร้างน้ำย่อย และส่งออกมาทางงวงยาวที่เรียกว่า proboscis (รูปที่ 2-3)เพื่อย่อยอาหารภายนอกร่างกายแล้วจึงดูดเข้าไปภายในร่างกาย โดยงวงนี้สามารถยืดยาวได้ประมาณ 8 – 10 เซนติเมตร ระบบทางเดินอาหารของหอยหวานประกอบด้วยปาก หลอดอาหาร กระเพาะ ลำไส้ และทวารหนัก (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545)



รูปที่ 2-3 ลูกศรสีน้ำเงินและสีแดงชี้แสดง proboscis (www.fisheries.go.th)

2.2 อาหาร

อาหารคือสิ่งที่สัตว์น้ำกินแล้วเกิดประโยชน์ต่อร่างกาย อาหารที่สัตว์น้ำกิน หลังจากถูกย่อยเป็นสารอาหารมีขนาดโมเลกุลเล็กลงจะถูกดูดซึมขนส่งไปยังเซลล์ต่างๆ เพื่อให้สัตว์น้ำได้ใช้ประโยชน์ โดยช่วยสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ ให้พลังงานและช่วยควบคุมให้การปฏิบัติงานของกระบวนการต่างๆในร่างกายดำเนินไปตามหน้าที่ แล้วส่งผลให้สัตว์น้ำสามารถดำรงชีวิต มีการเติบโตและสืบพันธุ์ได้อย่างปกติ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542)

อาหารประกอบด้วยสารอาหารซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อร่างกาย สารอาหารมี 5 ชนิด คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน วิตามิน เกลือแร่ รวมถึงน้ำด้วย โดยที่

- โปรตีน เป็นสารอาหารที่สัตว์น้ำต้องการมาก เพื่อใช้เป็นสารอาหารสำหรับร่างกายสร้างอวัยวะต่างๆ ฮอร์โมน และสารพันธุกรรม นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นสารที่ให้พลังงานด้วย

- ไขมัน ประกอบด้วยกรดไขมัน และกลีเซอรอล ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากสุดในกลุ่มของสารอาหารที่ให้พลังงานคือโปรตีนและคาร์โบไฮเดรต โดยที่ไขมันมีความสำคัญในด้านการเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์และเป็นสารต้นกำเนิดของฮอร์โมนที่สำคัญหลายชนิด

- คาร์โบไฮเดรต เป็นสารอาหารที่ให้พลังงานเช่นกัน สัตว์น้ำจะใช้สารอาหารนี้ได้อย่างทันทีทันใดและแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงาน และยังสามารถเก็บไว้เพื่อเป็นพลังงานสำรองได้ด้วย

- วิตามิน เป็นสารอินทรีย์ที่สัตว์น้ำต้องการในปริมาณน้อย แต่มีความสำคัญเพื่อให้การทำงานของร่างกายเป็นปกติ วิตามินที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำมีทั้งหมด 15 ชนิด แบ่งเป็นละลายน้ำได้ 11 ชนิด และละลายได้ในไขมันอีก 4 ชนิด

- แร่ธาตุ สัตว์น้ำต้องการแร่ธาตุเพื่อการเติบโตและทำให้กิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายดำเนินไปตามปกติ เช่น ทำให้รู้ถึงรสชาติอาหารได้ดีขึ้น ทำให้การดูดซึมอาหารไปใช้ดีขึ้น

สารอาหารทุกประเภทร่วมกันทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกายให้เป็นปกติ โดยที่โปรตีน เกลือแร่และน้ำช่วยสร้างและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ และโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันให้พลังงานและความอบอุ่นแก่ร่างกาย (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542 และ วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541)

2.3 อาหารสำเร็จรูป

อาหารสำหรับเลี้ยงสัตว์น้ำมีการใช้ทั้ง อาหารธรรมชาติ และ อาหารที่จัดเตรียมขึ้น อาหารธรรมชาติคืออาหารที่มีอยู่แล้วหรือเกิดขึ้นได้เองในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น กลุ่มแพลงก์ตอนพืช กลุ่มแพลงก์ตอนสัตว์ กลุ่มสัตว์น้ำวัยอ่อน เช่นลูกปลา ลูกกุ้ง เป็นต้น ข้อดีของอาหารธรรมชาติคือหาง่าย แต่อาหารธรรมชาติก็มีข้อเสียคือ คุณภาพและราคาจะขึ้นอยู่กับฤดูกาล และไม่สามารถควบคุมคุณค่าสารอาหารได้ตามต้องการ จึงมีการสร้างอาหารเพื่อนำมาทดแทนอาหารธรรมชาติ อาหารที่จัดเตรียมขึ้นหรืออาหารสำเร็จรูปเป็นอาหารที่ผู้เลี้ยงจัดทำหรือจัดหาให้สัตว์น้ำกินโดยมีเป้าหมายหลักเพื่อเพิ่มผลผลิตของสัตว์น้ำให้สูงขึ้นพร้อมกับลดระยะเวลาการเลี้ยงให้สั้นลง

อาหารสัตว์ในสมัยโบราณมีคุณภาพไม่ดีเพราะใช้วัตถุดิบไม่สะอาด มีคุณภาพต่ำ ทำให้สัตว์โตช้า วัตถุดิบที่ใช้ก็มีน้อยอย่าง ไม่มีการเติมสารเสริมพวกโปรตีน วิตามินและแร่ธาตุจึงทำให้สูตรอาหารไม่สมดุล สัตว์ที่เลี้ยงจึงได้รับอาหารไม่ครบถ้วนตามความต้องการ (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541) ต่อมามีการพัฒนาการศึกษาในด้านการผลิตอาหารมากขึ้น เช่น การคัดเลือกวัตถุดิบให้มีคุณภาพที่ดี การพัฒนากระบวนการผลิตอาหารให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมทั้งการศึกษาความต้องการสารอาหารของสัตว์น้ำแต่ละชนิด เป็นต้น จากการศึกษาสิ่งเหล่านี้ทำให้ได้อาหารตามลักษณะที่ต้องการ โดยที่มีลักษณะของอาหารดังนี้

1. เป็นอาหารที่มีคุณภาพดี มีโภชนะที่ย่อยได้สูง และเป็นอาหารที่ผลิตเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์น้ำแต่ละชนิดได้ตามวัตถุประสงค์

2. เป็นอาหารที่ได้ผ่านการสร้างสูตรอาหารที่มีคุณค่าอาหารสมดุล เหมาะสำหรับความต้องการของสัตว์น้ำ โดยใช้วัตถุดิบหลายอย่าง

3. ใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพดี รู้ส่วนประกอบที่แน่นอนที่จะสามารถคำนวณหาโภชนะแต่ละอย่างในอาหารผสมได้

4. มีอาหารเสริมพวกกรดอะมิโน วิตามิน แร่ธาตุรวมทั้งยาปฏิชีวนะหลายชนิดเพื่อเร่งการเติบโต และป้องกันโรคของสัตว์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. อาหารเหล่านี้สามารถผลิตเป็นอุตสาหกรรม มีให้เลือกใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ ได้แก่ อาหารสำหรับปลากินพืช ปลากินเนื้อ อาหารสำหรับปลาวัยอ่อนหรือปลาที่โตเต็มวัย อาหารสำหรับเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น

6. มีการควบคุมคุณภาพอย่างใกล้ชิดโดยมีนักวิชาการอาหารสัตว์น้ำ มีการคำนวณสูตรอาหารต่างๆ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์

2.4 โปรตีนและความต้องการโปรตีนของสัตว์น้ำ

โปรตีนเป็นอินทรีย์สารที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ นอกเหนือไปจากคาร์บอน , ไฮโดรเจนและออกซิเจน และยังมีฟอสฟอรัส, เหล็ก และซัลเฟอร์อยู่บ้างเล็กน้อย หน่วยย่อยสุดของโปรตีนมีขนาดของโมเลกุลเล็กที่สุดเรียกว่า กรดอะมิโน (amino acid) อาหารที่มีโปรตีนเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกย่อยและเปลี่ยนให้กลายเป็นกรดอะมิโน จากนั้นจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงนำกรดอะมิโนเหล่านั้นไปใช้ประโยชน์ในร่างกาย (รูปที่ 2-4) โปรตีนเป็นสารอาหารที่สำคัญยิ่งอย่างหนึ่งในการเลี้ยงสัตว์ ดังนั้นสัตว์จึงจำเป็นต้องได้รับโปรตีนอย่างเพียงพอตลอดเวลา นอกจากนี้โปรตีนยังเป็นแหล่งของสารอาหารที่สำคัญในการให้พลังงานคือ โปรตีน 1 กรัม ให้พลังงาน 4-5.65 กิโลแคลอรี (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542; วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541) โปรตีนทำหน้าที่หลายอย่างในร่างกายที่สำคัญ ได้แก่

1. เป็นองค์ประกอบของเซลล์ทุกชนิดในร่างกายของสัตว์ โดยเฉพาะเซลล์กล้ามเนื้อ กระดูก ฟัน เกล็ด ผิวหนังและเลือด ปกติเซลล์ในร่างกายจะต้องมีการเสื่อมสลายและจำเป็นต้องได้รับโปรตีนมาซ่อมแซมให้อยู่ในสภาพที่จะทำงานได้ตามปกติตลอดเวลา โปรตีนจึงทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของร่างกายหรือสร้างความเจริญเติบโตให้ร่างกายโดยตรง

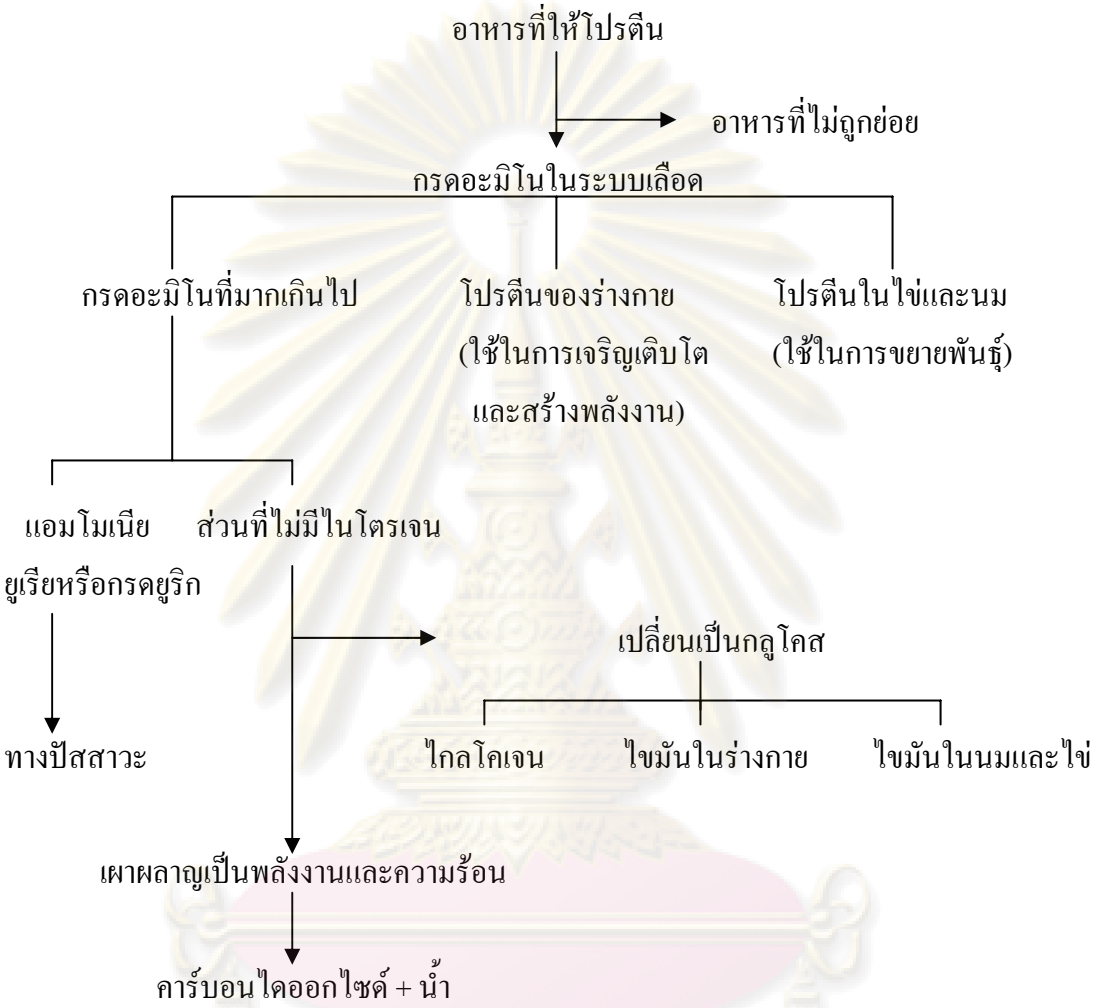
2. โปรตีนในเลือดทำหน้าที่ที่สำคัญ เช่น

2.1 รักษาสมดุลของความดันออสโมติก ทำให้ของเหลวภายในและนอกเซลล์อยู่ในภาวะสมดุลซึ่งเป็นสภาวะปกติ ในสภาวะที่โปรตีนในเลือดลดต่ำลงกว่าปกติ ความดันออสโมติกจะลดต่ำลงด้วย ทำให้ของเหลวซึมเข้าไปภายในเซลล์ เซลล์จึงเกิดอาการบวม ถ้าโปรตีนในเลือดเพิ่มสูงขึ้นจนเป็นปกติ ความดันออสโมติกจะกลับสู่ภาวะสมดุล ของเหลวที่คั่งค้างอยู่ในเซลล์จะถูกขับออกภายนอกทำให้อาการบวมหายไป

2.2 ควบคุมความเป็นกรด-เบสในเลือดและในเซลล์ให้อยู่ในภาวะปกติ คือมีค่าความเป็นกรด-เบสอยู่ในช่วงที่เหมาะสม การที่โปรตีนมีส่วนสำคัญในการรักษาความเป็นกรด-เบสให้อยู่ในช่วงดังกล่าว ทำให้การทำงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกายเป็นไปตามปกติ

2.3 ให้ภูมิคุ้มกัน เพื่อป้องกันการเกิดโรค จากแอนติบอดีซึ่งเป็นโปรตีนที่ร่างกายสร้างขึ้นจากโปรตีนในอาหาร

2.4 เป็นส่วนประกอบของเอนไซม์และฮอร์โมนซึ่งมีบทบาทสำคัญในการทำงานของระบบต่างๆ ในร่างกาย โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์อาหาร เช่นการย่อย การดูดซึมและกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยเอนไซม์ทำหน้าที่เป็นตัวเร่ง ส่วนฮอร์โมนทำหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542)



รูปที่ 2-4 แผนผังแสดงการเปลี่ยนแปลงโปรตีนภายในร่างกาย
(ดัดแปลงจากวุฒิพร พรหมขุนทอง (2541) อ้างตาม Halver (1989))

ความต้องการโปรตีนของสัตว์น้ำ ขึ้นอยู่กับ

1) ชนิดของสัตว์น้ำ ซึ่งแต่ละชนิดจะมีความต้องการโปรตีนในระดับที่แตกต่างกันไป เช่น กุ้งต้องการโปรตีนที่ระดับ 40% (Gauquelin et al, 2007) ปลาต้องการระดับโปรตีนอยู่ในช่วง25 – 35% (Boonyaratpalin, 1997) เป็นต้น

2) ขนาดหรืออายุของสัตว์น้ำ ในสัตว์น้ำวัยอ่อนจะมีความต้องการโปรตีนในระดับที่สูงกว่าในตัวเต็มวัยหรือที่มีขนาดใหญ่กว่า

3) อุณหภูมิของน้ำ มีแนวโน้มความต้องการโปรตีนสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541 และ Lupatsch and Kissil, 2005)

4) ระดับพลังงานในอาหาร อาหารที่มีพลังงานมากทำให้สัตว์น้ำกินอาหารลดลง เนื่องจากเมื่อได้รับพลังงานเพียงพอต่อความต้องการแล้ว สัตว์น้ำก็จะหยุดกินอาหาร ดังนั้นอาหารจึงควรมีสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมจะทำให้สัตว์น้ำเติบโตเร็วที่สุด (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541)

2.5 พลังงาน และความต้องการพลังงานของสัตว์น้ำ

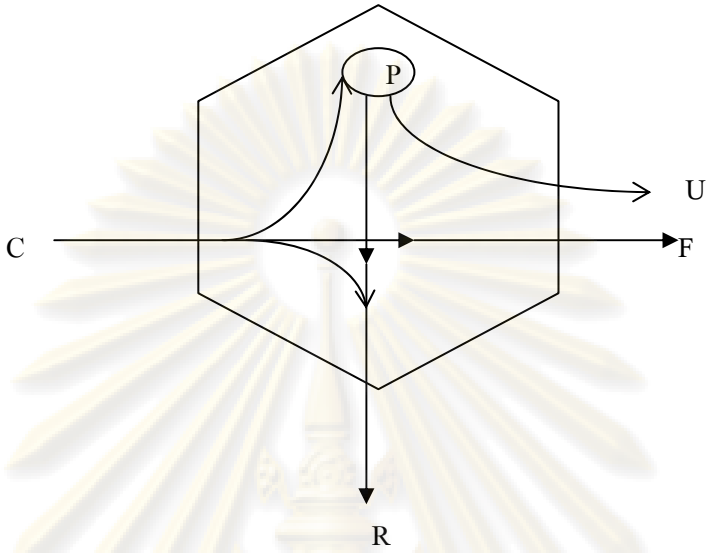
สิ่งมีชีวิตต้องการพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต การเจริญเติบโต การสร้างงาน การซ่อมแซมส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย และการสืบพันธุ์ เช่นการควบคุมการเปลี่ยนแปลงฮอร์โมนเพศ (Raymond et al., 2007) ด้วยเหตุนี้พลังงานจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าขาดพลังงาน สิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้อย่างเป็นปกติ และตายในที่สุด สัตว์น้ำได้รับพลังงานมาจากอาหารที่กินเข้าไปจะสูญเสียไปกับสิ่งที่สัตว์น้ำขับถ่ายออกมา จากนั้นจึงเหลือเป็นพลังงานเพื่อให้การดำรงชีวิต และกิจกรรมต่างๆ เป็นไปตามปกติ (Gomez et al., 2003) ดังสมการ energy budget (ดังรูปที่ 2-5)

$$C = P + R + U + F$$

เมื่อ C คือ พลังงานที่ได้รับจากอาหาร, P คือ ผลผลิตหรือการเปลี่ยนพลังงานไปในการเติบโต, R คือ กระบวนการหายใจ, U คือ ยูรีน, F คือ สิ่งที่ขับถ่ายออกมา (Brafield and Llewellyn, 1982) ดังนั้นความสมดุลระหว่างอาหารที่สัตว์น้ำกินกับปริมาณความต้องการพลังงานของสัตว์น้ำจึงเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึง(วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541และ Viana et al., 2007) หากอาหารให้พลังงานน้อยกว่าความต้องการของร่างกาย เนื้อเยื่อของร่างกายจะไปดึงเอาพลังงานจากอาหารที่เก็บสะสมไว้เพื่อให้ได้พลังงานมาทดแทน อุณหภูมิในตัวของสัตว์น้ำจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม ฉะนั้นอาหารที่สัตว์น้ำกินเข้าไปจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ สัตว์น้ำจึงมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานอาหารให้เป็นน้ำหนักตัวมากกว่าสัตว์บกทั่วไป

สัตว์น้ำได้รับพลังงานจากอาหารที่กินเข้าไปทั้ง 5 หมู่ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต วิตามิน และแร่ธาตุ สารอาหารที่เป็นแหล่งของพลังงานมี 3 หมู่ คือ โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต จะถูกออกซิไดซ์ และให้พลังงานออกมา ส่วนวิตามิน และแร่ธาตุเป็นสารอาหารที่ไม่ได้ให้พลังงาน แต่จะทำให้กลไกการสร้างพลังงานดำเนินไปตามปกติ ไขมันเป็นสารอาหารที่ให้พลังงานมากที่สุด เมื่อกรดไขมันถูกออกซิไดซ์จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงาน ไขมันอาจสะสมเป็นแหล่งพลังงานสำรองในเนื้อเยื่อ ในขณะที่โปรตีนนั้นจะถูกนำมาใช้

ในการเจริญ เติบโตเป็นหลักมากกว่าเป็นแหล่งของพลังงาน แต่ถ้าสัตว์น้ำได้รับพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตหรือไขมันน้อยเกินไป จะทำให้กรดอะมิโนถูกออกซิไดซ์เป็นพลังงาน



รูปที่ 2-5 การใช้พลังงานจากอาหารเพื่อกิจกรรมต่างๆ ภายในร่างกายของสัตว์น้ำ (ดัดแปลงจาก Piyatiratitivorakul (1988))

ความต้องการพลังงานขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายประการประกอบกัน เช่น

1) ชนิดของสัตว์น้ำ เช่น กุ้งกุลาดำในระยะวัยรุ่นต้องการพลังงานอยู่ในช่วง 261 – 331 Kcal/100 g (Chuntapa et al., 1999) หอยเป๋าฮื้อในระยะวัยรุ่นต้องการพลังงานอยู่ในช่วง 3 – 4 Kcal/g (Gomez et al., 2003 and Bautista and Millamena, 1999)

2) อุณหภูมิน้ำ มีผลโดยตรงต่ออัตราการใช้พลังงานของสัตว์น้ำ โดยที่อัตราการใช้พลังงานจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิน้ำสูงขึ้น (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541 และ Lupatsch and Kissil, 2005)

3) ขนาดของสัตว์น้ำ อัตราการใช้พลังงานของสัตว์น้ำแตกต่างกันไปตามน้ำหนักของสัตว์น้ำ สัตว์น้ำที่กำลังเจริญเติบโตมีความต้องการพลังงานเมื่อเปรียบเทียบต่อหน่วยน้ำหนักเพื่อใช้ในการคงสภาพ และดำรงชีวิตมากกว่าสัตว์น้ำที่โตเต็มวัย แม้ว่าในช่วงฤดูสืบพันธุ์วางไข่ สัตว์น้ำที่โตเต็มวัยแล้วต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้กิจกรรมดังกล่าวก็ตาม (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542 และวุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541)

4) การไหลของน้ำ การไหลของน้ำทำให้สัตว์น้ำต้องออกแรงต้านทาน สัตว์น้ำอาศัยในแหล่งน้ำไหลจึงต้องใช้พลังงานมากกว่าสัตว์น้ำในแหล่งน้ำนิ่ง

5) อาหารและปริมาณอาหารที่ให้ มีผลโดยตรงต่อกิจกรรมการกินอาหารของสัตว์น้ำ กิจกรรมการกินอาหารเพิ่มขึ้นตามปริมาณอาหารที่ให้

นอกจากนี้ วงจรชีวิตของสัตว์น้ำรวมทั้งฤดูกาล และสภาพแวดล้อมก็มีส่วนเกี่ยวข้องด้วย การศึกษาเรื่องความต้องการพลังงานในสัตว์น้ำยังมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาความต้องการพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการเติบโต ทั้งนี้เพื่อจะนำเอาข้อมูลของระดับพลังงานที่สัตว์น้ำต้องการเพื่อการเจริญเติบโตไปผลิตอาหารสัตว์น้ำโดยตรง (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541)

2.5 การใช้ไขมันเป็นแหล่งของพลังงาน

สัตว์น้ำใช้ไขมันเป็นแหล่งของพลังงานมากกว่าการใช้เป็นแหล่งของกรดไขมันจำเป็น โดยเฉพาะพวกที่กินเนื้อ ซึ่งใช้คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานได้อย่างไม่มีประสิทธิภาพ และสัตว์น้ำจะใช้โปรตีนบางส่วนเป็นแหล่งของพลังงานแทน ซึ่งค่าพลังงานที่ถูกย่อยได้ (digestible energy: DE) แปรผันตรงกับค่าโปรตีนที่ถูกย่อยได้ (digestible protein: DP) (Lupatsch and Kissil, 2005) ดังการศึกษาของ Wang et al. (2006) แสดงให้เห็นสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในอาหารของปลาจวด (cuneate drum, *Nibea miichthioides*) โดยให้อาหารที่ประกอบด้วยพลังงานและโปรตีนในระดับที่แตกต่างกัน พบว่าระดับพลังงานที่ถูกย่อยได้ เพิ่มขึ้นเมื่อระดับโปรตีนที่ถูกย่อยได้ เพิ่มขึ้น ซึ่งสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของปลาจวดชนิดนี้คือ 40% DP ต่อ 16 MJ kg^{-1}

การเติมไขมันในอาหารจะช่วยทำให้การใช้โปรตีนของปลาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น (วุฒิพร พรหมขุนทอง, 2541) ดังการศึกษาของ Gomez et al. (2003) ที่แสดงถึงผลของสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานในอาหารต่อการเติบโตของหอยเป๋าฮื้อระยะวัยรุ่น โดยให้อาหารที่มีสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานแตกต่างกัน 5 ระดับ พบว่าในระดับที่มีโปรตีนประมาณ 40% เติมไขมัน 6.75% ให้ประสิทธิภาพการนำโปรตีนไปใช้สูงกว่าระดับที่มีโปรตีนประมาณ 44% ที่เติมไขมัน 6.6%

การศึกษาเรื่องสัดส่วนของปริมาณโปรตีนต่อปริมาณของพลังงานที่เหมาะสมต่อความต้องการสารอาหารและการเติบโตของสัตว์น้ำชนิดต่างๆ โดยใช้ไขมันเป็นแหล่งพลังงานนั้นมีไม่มากนัก ส่วนใหญ่จะเป็นการศึกษาระดับโปรตีนหรือระดับไขมันที่เหมาะสมต่อความต้องการของสัตว์น้ำแต่ละชนิดเพียงอย่างเดียว

ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นไปในเรื่องสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมในการเติบโตของหอยหวานในระยะวัยรุ่น เมื่อเลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนแบบปิด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 สถานที่วิจัย

สถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลา ตำบลอ่างศิลา อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี, ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด Completely Randomized Design (CRD) ที่เป็น 3x3 factorials โดยอาหารทดลองที่ใช้มีโปรตีน 3 ระดับ คือ 35, 40 และ 45 เปอร์เซ็นต์ และมีพลังงาน 3 ระดับ คือ 3.8, 4.0 และ 4.2 กิโลแคลอรีต่อกรัม ได้ชุดการทดลองตามอาหารทดลองออกเป็น 9 ชุด ทำซ้ำการทดลองชุดละ 4 ซ้ำ โดยทำการทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ ซึ่งในแต่ละชุดการทดลองจะมีสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (protein : energy ratio)ในอาหารทดลองดังนี้

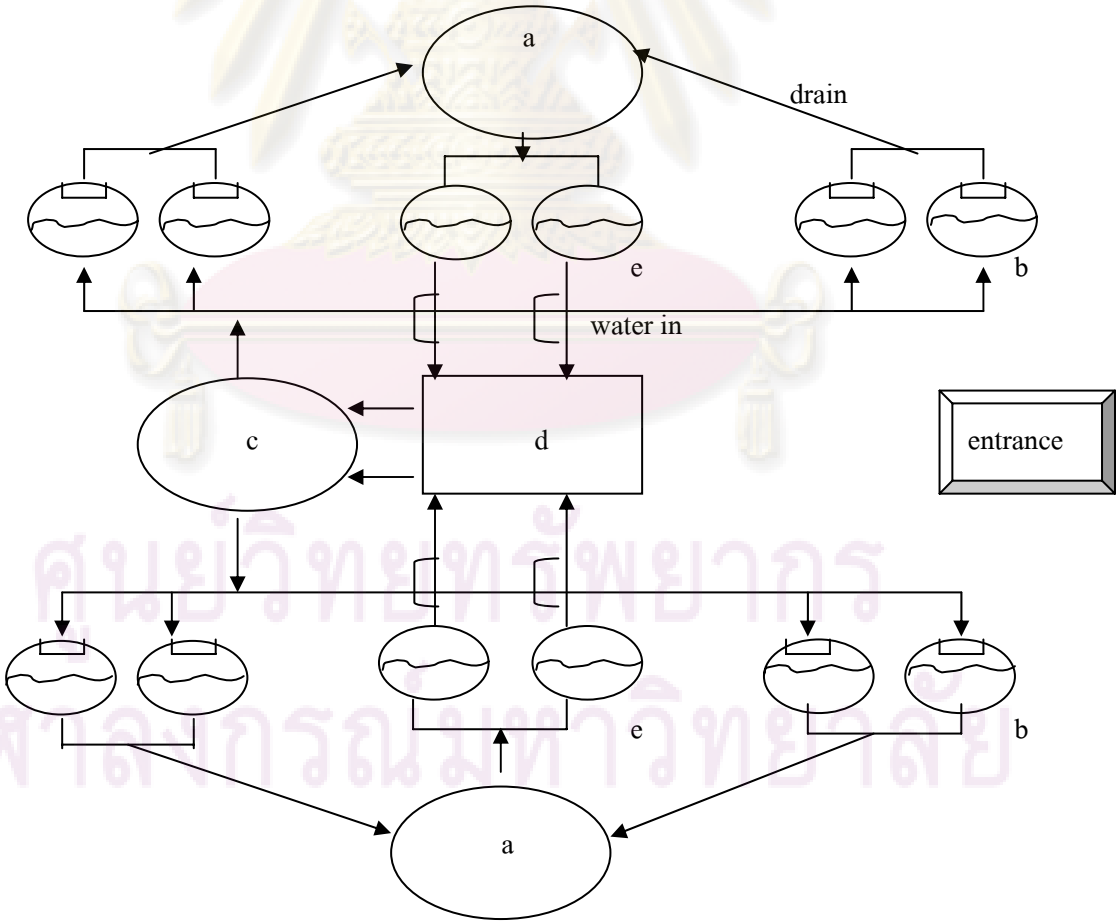
ชุดการทดลองที่ 1 35 : 3.8 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 2 35 : 4.0 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 3 35 : 4.2 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 4 40 : 3.8 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 5 40 : 4.0 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 6 40 : 4.2 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 7 45 : 3.8 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 8 45 : 4.0 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)
ชุดการทดลองที่ 9 45 : 4.2 (เปอร์เซ็นต์ : กิโลแคลอรีต่อกรัม)

3.3 หน่วยทดลองและระบบเลี้ยง

3.3.1. หน่วยทดลอง ใช้ตะกร้าเป็นหน่วยทดลอง เพื่อช่วยให้การหมุนเวียนของน้ำผ่านหน่วยทดลองแต่ละหน่วยมีประสิทธิภาพดีขึ้น ตะกร้าที่ใช้มีฝาเปิดสองด้าน ขนาดกว้าง 22 เซนติเมตร ยาว 28.5 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร (รูปที่ 3-1) พื้นตะกร้าเป็นพื้นเรียบและมีทรายละเอียดรองไว้ที่พื้นตะกร้าหนาประมาณ 1 เซนติเมตร เพื่อการฝังตัวของหอยหวาน

รูปที่ 3-1 ตะกร้าที่ใช้เป็นหน่วยทดลอง

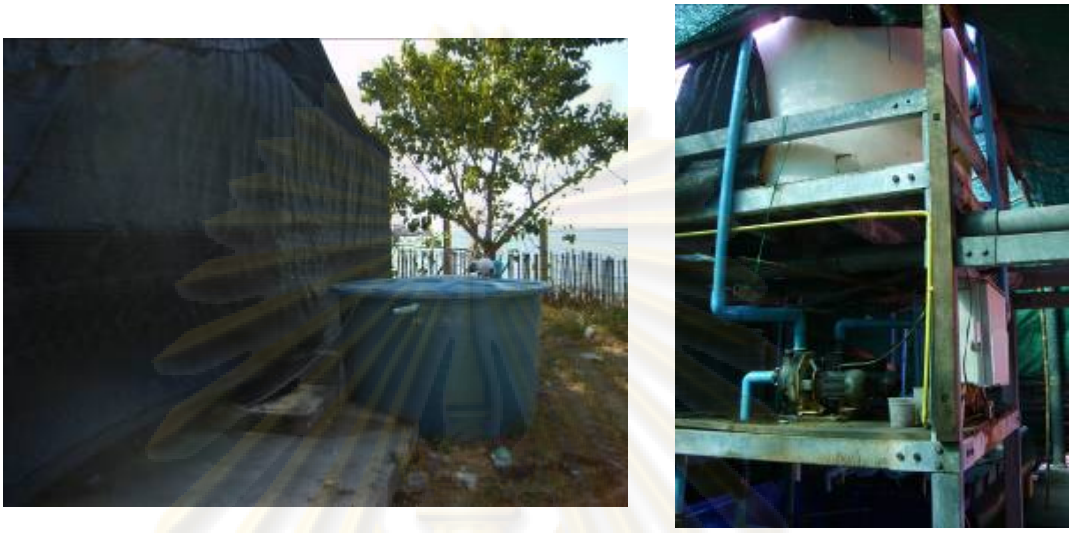
3.3.2. ระบบเลี้ยง ระบบที่ใช้เป็นระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดดังแผนผังระบบ (รูปที่ 3-2) โดยน้ำทะเลที่ใช้เป็นน้ำทะเลสด ความเค็มอยู่ที่ประมาณ 28 – 30 พีพีที โดยจะสูบน้ำทะเลผ่านใยกรองเข้าถังตกตะกอน จากนั้นเข้าสู่ถังพักน้ำ แล้วจึงสูบขึ้นไปที่ถังส่งน้ำ (รูปที่ 3-3) ด้านบน ในถังส่งน้ำนี้จะมีใยกรองเพื่อทำการกรองน้ำ จากนั้นน้ำจะถูกส่งลงมายังถังเพาะเลี้ยง โดยที่ถังเพาะเลี้ยงจะมีลักษณะเป็นท่อวางแนวนอน มีช่องเปิด 6 ช่อง ภายในมีท่อสำหรับฉีดน้ำเพื่อให้ถังเพาะเลี้ยงมีความชื้นตลอดเวลา (รูปที่ 3-4) วางตะกร้าไว้ในช่องเปิดของถังเพาะเลี้ยง ช่องละ 1 ตะกร้า (รูปที่ 3-5) ให้อากาศอย่างเพียงพอตลอดเวลา ทำการล้างตะกร้าเพื่อกำจัดของเสียทุกวัน วันละ 1 ครั้ง และทำการล้างถังเพาะเลี้ยงทุกเดือน เดือนละ 1 ครั้ง ทำการเปิดระบบเพื่อทดสอบความเรียบร้อยเป็นเวลา 3 สัปดาห์ก่อนเริ่มการทดลอง



รูปที่ 3-2 แผนผังระบบการเลี้ยงหอยซึ่งเป็นระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดที่ประกอบด้วย (a) ถังตกตะกอน (b) ถังเพาะเลี้ยง (c) ถังจ่ายน้ำ (d) ถังพักน้ำ และ (e) บ่อบำบัดน้ำชีวภาพ

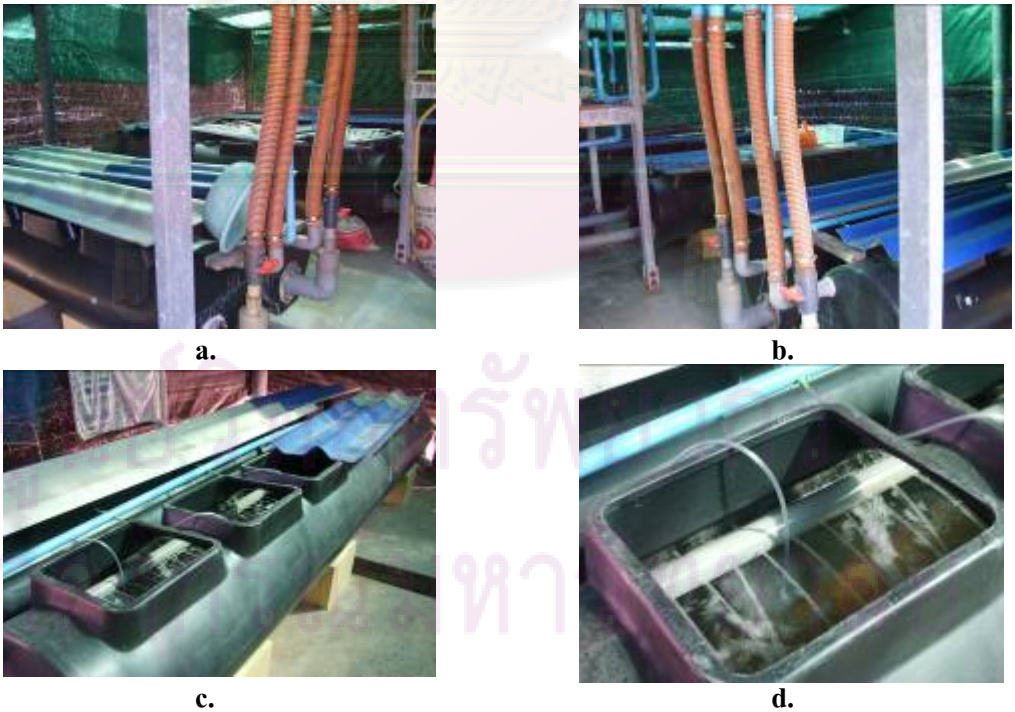
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้มีการตรวจสอบคุณภาพน้ำทะเลที่ใช้ทุกสัปดาห์ โดยวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้คือ ไนไตรท์ แอมโมเนีย อัลคาไลน์นิตี้ ค่าความเป็นกรด – ด่าง ความเค็ม อุณหภูมิ ค่าการละลายออกซิเจน



a. **b.**

รูปที่ 3-3 a. ถังตกตะกอน b. ถังส่งน้ำ (สีขาว) และถังพักน้ำ (สีน้ำเงิน)



a. **b.**

c. **d.**

รูปที่ 3-4 ถังเพาะเลี้ยง a. ถังเพาะเลี้ยงด้านซ้าย b. ถังเพาะเลี้ยงด้านขวา c. ช่องเปิดบนถังเพาะเลี้ยง d. ภายในถังมีน้ำฉีดตลอดเวลา

รูปที่ 3-5 ลักษณะตะกร้าที่วางลงในช่องเปิด

3.4 สัตว์ทดลอง

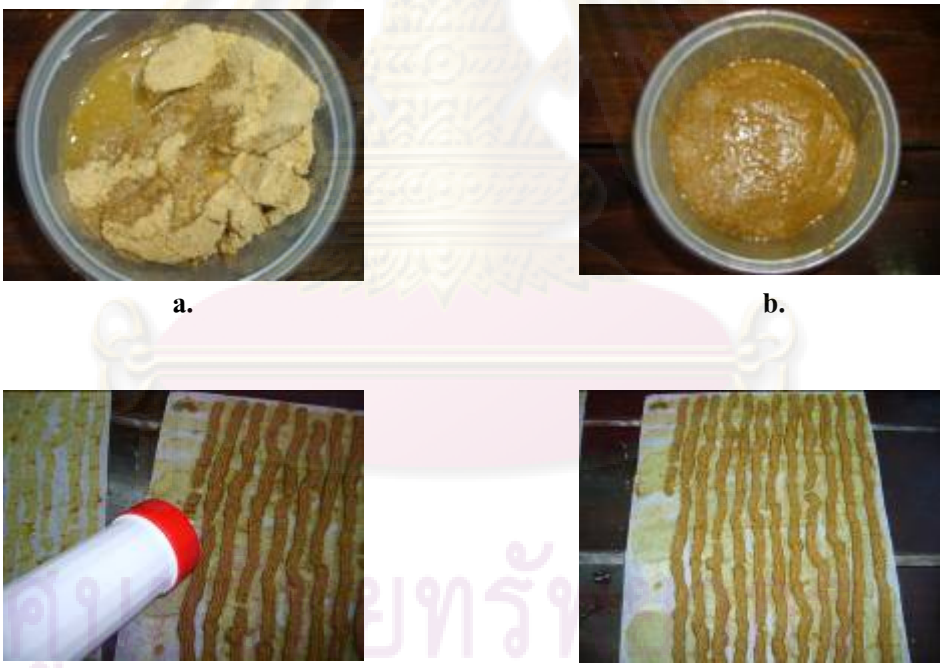
ใช้หอยหวาน *Babylonia areolata* ระยะวัยรุ่น จากฟาร์มเพาะเลี้ยงหอยหวาน ที่จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 1,500 ตัว มาอนุบาลในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร ให้อาหารวันละ 2 มื้อ โดยมีการให้ปลาสดผสมอาหารทดลองสูตรที่มีโปรตีนต่ำและพลังงานต่ำ และปรับลดปลาสดจนกระทั่งไม่มีปลาสดผสม เพื่อให้ลูกหอยคุ้นเคยกับอาหารทดลองเป็นเวลา 1 สัปดาห์ จากนั้นคัดขนาดลูกหอย ให้มีความยาวเปลือกประมาณ 1.1 ± 0.1 เซนติเมตร และมีน้ำหนักตัวเฉลี่ย 0.2 ± 0.1 กรัม แบ่งตามชุดอาหารทดลอง ซึ่งมีทั้งหมด 9 ชุด ชุดละ 4 ซ้ำ โดยเลี้ยงในตะกร้า ตะกร้าละ 30 ตัว ในระหว่างการเลี้ยงให้อาหารคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว โดยจะให้อาหารวันละ 2 มื้อ คือ ช่วงเช้าในเวลาประมาณ 8.00 น. และในช่วงเย็นเวลาประมาณ 17.00 น. ทำการล้างตะกอนและเศษอาหารที่เหลือทุกวัน วันละ 1 ครั้ง บันทึกการเติบโตโดยการวัดความยาวเปลือกและชั่งน้ำหนักลูกหอยเป็นรายตัว (รูปที่ 3-6) ทุก 4 สัปดาห์ สังเกตอาการและบันทึกการตายทุกวัน

a. **b.**

รูปที่ 3-6 การวัดการเติบโตของหอยหวาน a. การวัดความยาวเปลือก b. การชั่งน้ำหนัก

3.5 อาหารทดลอง

นำวัถุดิบต่างๆ มาผสมในอาหารทดลอง โดยใช้ปลาป่น กากถั่วเหลือง และกุ้งป่นเป็นแหล่งของโปรตีน ใช้น้ำมันทูน่าเป็นแหล่งของไขมัน แป้งสาลีเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรต มีการเติมวิตามินและแร่ธาตุต่างๆ และใช้เซลลูโลสเป็นตัวปรับสูตรอาหาร โดยมีวีทกลูเตนเป็นตัวประสาน (Binder) ส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งสัดส่วนวัตถุดิบอาหารและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองทุกสูตรแสดงอย่างละเอียดดังตารางที่ 3-1 ทำการผลิตอาหาร ณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านเทคโนโลยีชีวภาพทางทะเล และห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีอาหารสัตว์น้ำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล โดยผสมวัตถุดิบทั้งหมดตามสัดส่วนให้เข้ากัน นำมาชั่งน้ำหนักประมาณ 120 กรัม จากนั้นนำไปผสมน้ำประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้เกิดความคงตัว จากนั้นนำไปอัดแท่งด้วยเครื่องอัดแท่งชนิดอัดด้วยมือโดยใช้รูปแบบอาหารแบบแท่งหยัก (รูปที่ 3-7) แล้วจึงเก็บใส่กล่องพลาสติกไว้ในตู้แช่แข็งเพื่อนำมาใช้ในการเลี้ยงต่อไป โดยจะทำการผสมและอัดแท่งอาหารในทุกๆ สัปดาห์



a. **b.**

c. **d.**

รูปที่ 3-7 การทำอาหาร a. ผสมน้ำลงในอาหาร b. อาหารที่ผสมน้ำ c. อัดแท่งอาหาร d. ลักษณะแท่งอาหาร

ตารางที่ 3-1 ส่วนประกอบและคุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลองทั้ง 9 สูตร

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม / 100 กรัม) (สัดส่วนโปรตีน:พลังงาน เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)								
	35:3.8	35:4	35:4.2	40:3.8	40:4	40:4.2	45:3.8	45:4	45:4.2
ปลาป่น	45.12	45.12	45.12	50.76	50.76	50.76	50.76	50.76	50.76
กากถั่วเหลืองป่น	9.48	9.48	9.48	8.06	8.06	8.06	11.85	11.85	11.85
กุ้งป่น	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
แป้งสาลี	3	3	3	3	3	3	3	3	3
วีท กลูเตน	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77	4.77
น้ำมันปลาทูน่า	6.54	11.54	14.54	6.17	11.17	14.17	6.1	11.1	14.1
วิตามินรวม [a]	4	4	4	4	4	4	4	4	4
แร่ธาตุรวม [b]	4	4	4	4	4	4	4	4	4
เซลลูโลส	20.69	15.69	12.69	16.84	11.84	8.84	13.12	8.12	5.12
Proximate composition (%)									
ความชื้น (%)	6.15	5.63	5.60	9.09	8.80	8.51	9.07	8.90	8.79
โปรตีน (%)	35	35	35	40	40	40	45	45	45
ไขมัน (%)	9.67	14.99	18.25	10.11	14.52	18.02	10.04	15.09	18.02
เถ้า (%)	20.86	20.70	20.78	20.56	20.67	20.84	20.44	20.73	20.55
พลังงาน (Kcal g^{-1})	3.8	4.0	4.2	3.8	4.0	4.2	3.8	4.0	4.2

[a] Vitamin premix (mg kg^{-1} or IU): vitamin A, 10000000 IU; vitamin D3, 1000000 IU; vitamin E, 10000 mg kg^{-1}; vitamin K3, 1000 mg kg^{-1}; vitamin B1, 500 mg kg^{-1}; vitamin B2, 5000 mg kg^{-1}; vitamin B6, 1500 mg kg^{-1}; vitamin C, 10000 mg kg^{-1}; folate, 1000 mg kg^{-1}; dealmethionine, 16038 mg kg^{-1}

[b] Mineral premix (mg kg^{-1}): Ca, 147 g kg^{-1}; P, 147 g kg^{-1}; Fe, 2010 mg kg^{-1}; Cu, 3621 mg kg^{-1}; Zn, 6424 mg kg^{-1}; Mn, 10062 mg kg^{-1}; Co, 105 mg kg^{-1}; I, 1000 mg kg^{-1}; Se, 60 mg kg^{-1}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.6 การทดสอบเบื้องต้นของการคงสภาพของอาหารทดลองในรูปร่างต่างๆ

นำส่วนผสมวัตถุดิบทั้งหมดดังตารางที่ 3-1 ผสมให้เข้ากันมา 150 กรัม เติมน้ำประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แบ่งชุดการทดลองตามรูปร่างของอาหารออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 นำอาหารมาปั้นเป็นทรงกลม ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 2 นำอาหารมาทำให้เป็นแผ่นแบน ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร ความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร

ชุดการทดลองที่ 3 นำอาหารมาทำให้เป็นแท่ง โดยนำเข้าเครื่องอัดแท่งด้วยมือ ดังรูป 3-7c ให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร

ชุดการทดลองที่ 4 นำอาหารมาทำให้เป็นแท่งหยัก โดยนำเข้าเครื่องอัดแท่งด้วยมือ ให้มีความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร

นำอาหารในทุกชุดการทดลองไปผึ่งลมให้แห้งเป็นเวลา 2 วัน เมื่ออาหารแห้งดีแล้วนำอาหารในแต่ละชุดการทดลอง ชั่งน้ำหนัก จดบันทึก จากนั้นใส่ลงในน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ppt เป็นเวลา 60 นาที สังเกตและบันทึกผลทุก 5 นาที และชั่งอาหารที่เหลือเมื่อเวลาผ่านไปครบ 60 นาที วัดการคงสภาพของอาหารทดลองในรูปร่างต่างๆ จากนั้นนำชุดการทดลองที่มีการคงสภาพดีที่สุดไปใช้เป็นรูปร่างของอาหารทดลองในการวิจัยครั้งนี้

3.7 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการของอาหารทดลอง

วิเคราะห์อาหารทดลองใช้วิธีแบบ proximate analysis ตาม AOAC(1995) ประกอบด้วยการวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน การวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน การวิเคราะห์หาค่าพลังงาน การวิเคราะห์หาค่าความชื้น และการวิเคราะห์หาปริมาณเถ้า (ดังแสดงในภาคผนวก ก.)

3.8 การเก็บข้อมูล ประเมินผล และการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

3.8.1. การเก็บข้อมูลและประเมินผล ทำการเก็บข้อมูลการเติบโตโดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวเปลือก นับจำนวนลูกหอยเพื่อวัดอัตรารอด ทุก 4 สัปดาห์ เพื่อนำข้อมูลค่าเฉลี่ยไปประเมินการเติบโต โดยวัดจากความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้น (Shell length increment) และน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Weight gain) อัตราการเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed conversion ratio: FCR) และประเมินผลอัตรารอด (Survival rate) จากจำนวนลูกหอยที่เหลือ โดยค่าต่างๆคำนวณจากสมการดังนี้

ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะ

$$\text{Specific growth rate (SGR)} = \frac{\ln(\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น}) - \ln(\text{น้ำหนักเริ่มต้น}) \times 100}{\text{ระยะเวลา(วัน)}}$$

น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (weight gain %)

$$= \frac{(\text{น.น.หอยหวานเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{น.น.หอยหวานเริ่มต้นการทดลอง}) \times 100}{\text{น้ำหนักหอยหวานเมื่อเริ่มต้น}}$$

ค่าความยาวเปลือกที่เพิ่มขึ้น (shell length increment %)

$$= \frac{(\text{ความยาวเปลือกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} - \text{ความยาวเปลือกเริ่มต้น})}{\text{ความยาวเปลือกเริ่มต้น x 100}}$$

ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio : FCR)

$$= \frac{\text{น.น.อาหารที่หอยหวานกินทั้งหมด}}{\text{น.น.หอยหวานที่เพิ่มขึ้น}}$$

อัตราการรอดตาย (Survival rate %)

$$= \frac{\text{จำนวนหอยหวานเมื่อสิ้นสุดการทดลอง} \times 100}{\text{จำนวนหอยหวานเมื่อเริ่มต้นการทดลอง}}$$

3.8.2. การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA แบบสองทาง (two - way ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์สถิติ โดยใช้ข้อมูลความยาวเปลือก น้ำหนัก อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ อัตราการรอด เพื่อเปรียบเทียบหาระดับปริมาณโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในการเลี้ยงหอยหวาน

การประเมินค่าสัดส่วนโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวานวิเคราะห์ด้วย Response Surface analysis ตามวิธีการ Freund and Littell (2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

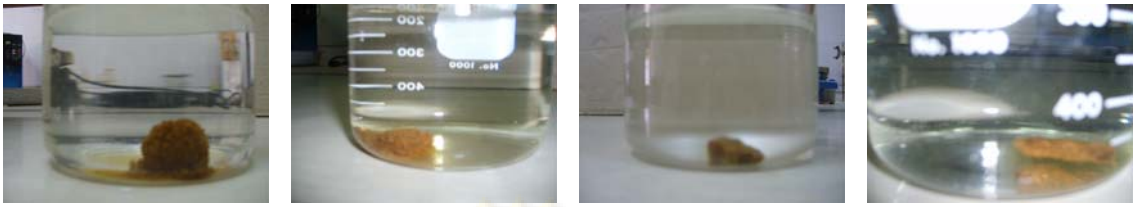
ผลการศึกษา

4.1 การทดสอบเบื้องต้นของการคงสภาพของอาหารในรูปร่างที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ

จากการทดลองนำอาหารที่มีรูปร่างแตกต่างกัน 4 ลักษณะคือลักษณะทรงกลม ลักษณะแผ่น ลักษณะแท่ง และลักษณแท่งหยัก เพื่อนำรูปร่างอาหารที่ให้การคงสภาพดีที่สุดไปใช้เป็นรูปร่างอาหารทดลองในการวิจัย โดยให้อาหารมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร ชั่งน้ำหนักและจดบันทึก จากนั้นใส่ในน้ำทะเลที่ความเค็ม 30 ppt ปริมาตร 300 มิลลิลิตร เป็นเวลา 60 นาที ผลการทดลองพบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที อาหารที่มีลักษณะทรงกลมและลักษณะแผ่นเริ่มแตกตัว ส่วนในลักษณะแท่งและลักษณะแท่งหยักยังไม่มีการแตกตัว เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที อาหารที่มีลักษณะกลมและแผ่นมีการแตกตัวมากจนเหลือการคงสภาพของอาหารน้อย ส่วนอาหารในลักษณะแท่งและแท่งหยักยังไม่มีการแตกตัว และเมื่อ 60 นาทีผ่านไป พบว่าเริ่มมีการแตกตัวของอาหารลักษณะแท่งเพียงเล็กน้อย ส่วนอาหารในลักษณะแท่งหยักไม่พบการแตกตัว เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที (รูปที่ 4-1)

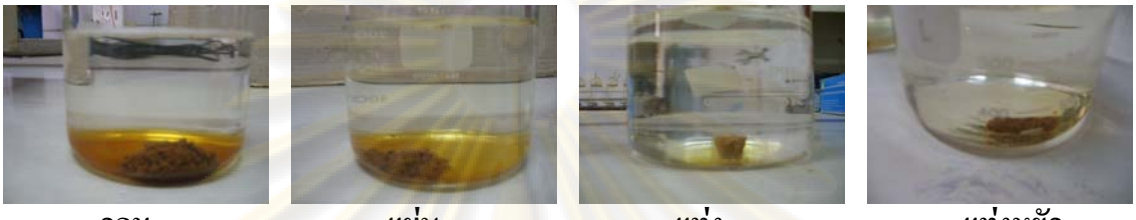
ผลการทดลอง ดังรูป 4-2 พบว่าอาหารที่มีรูปร่างกลมและแผ่นมีความคงสภาพของอาหารน้อยที่สุด โดยเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที เหลือการคงสภาพของอาหาร 9 และ 12 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ รองลงมาคืออาหารที่มีรูปร่างแท่ง เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที เหลือการคงสภาพของอาหาร 90 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอาหารที่มีรูปร่างแท่งหยักให้การคงสภาพของอาหารดีที่สุด โดยเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที เหลือการคงสภาพของอาหาร 99 เปอร์เซ็นต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



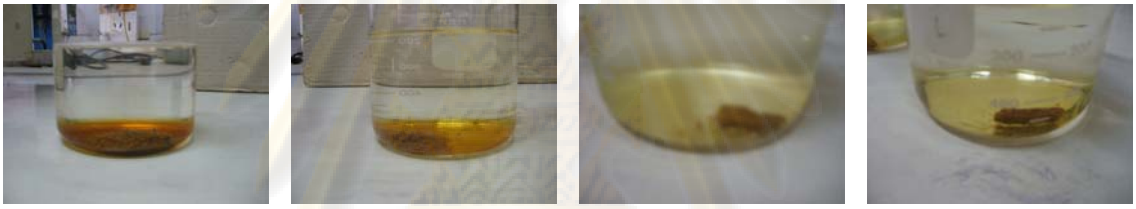
กลม แผ่น แท่ง แท่งหยัก

ลักษณะการคงสภาพของแต่ละรูปร่างอาหาร เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที



กลม แผ่น แท่ง แท่งหยัก

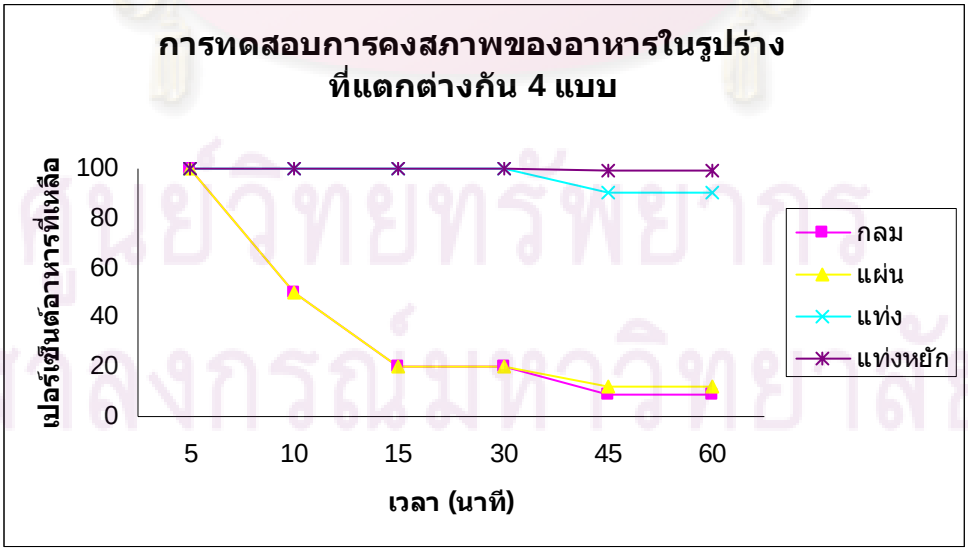
ลักษณะการคงสภาพของแต่ละรูปร่างอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที



กลม แผ่น แท่ง แท่งหยัก

ลักษณะการคงสภาพของแต่ละรูปร่างอาหารเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

รูปที่ 4-1 ลักษณะการคงสภาพของรูปร่างอาหารต่างๆ



รูปที่ 4-2 ผลการทดสอบการคงสภาพอาหาร

4.2 ผลของโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน

จากผลการศึกษาการเติบโตโดยความยาวเปลือก (ตารางที่ 4-1) และการเติบโตโดยน้ำหนัก (ตารางที่ 4-2) พบว่าระดับโปรตีนและพลังงานในอาหารที่ใช้เลี้ยงหอยหวานมีปฏิสัมพันธ์กับการเติบโตของหอยหวานทั้งการเปลี่ยนแปลงของความยาวเปลือกและน้ำหนักตัว ดังนั้นจึงใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA ที่ใช้สูตรอาหาร 9 สูตร ในการเปรียบเทียบเพื่อหาผลของสูตรอาหารต่อการเติบโต

การเติบโตโดยความยาวเปลือกของหอยหวาน

จากผลการศึกษาการเติบโตโดยความยาวเปลือก ทั้ง 9 ชุดการทดลอง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าอาหารสูตร 2 ซึ่งมีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (P:E) เท่ากับ 35:4.0 (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรี/กรัม) ในอาหารทดลองให้ค่าการเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 1.52 ± 0.02 เซนติเมตร แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับสูตรอาหารที่ 4 (40:3.8), 5 (40:4.0), 6 (40:4.2) และ 9 (45:4.2) และเมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าอาหารสูตรที่ 2 ให้ค่าการเติบโตโดยความยาวเปลือกดีที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับอาหารสูตรที่ 4, 5 และ 6 ส่วนในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 8 ที่มีระดับโปรตีนต่อพลังงาน 45:4.0 (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรี/กรัม) มีการเติบโตโดยความยาวเปลือกต่ำที่สุด และมีผลเช่นเดียวกันเมื่อทำการทดลองผ่านไป 12 สัปดาห์

เมื่อเลี้ยงครบ 16 สัปดาห์พบว่าชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ให้ค่าการเติบโตโดยความยาวเปลือกดีที่สุด (2.45 ± 0.01เซนติเมตร) และแตกต่างกับสูตรอาหารอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$) ยกเว้นในกลุ่มที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 5 และ 6 ที่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ในหอยที่เลี้ยงด้วยอาหารสูตรที่ 8 มีความยาวเฉลี่ยต่ำที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างกับชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 1 (35:3.8), 7 (45:3.8) และ 9 (45:4.2)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-1 การเติบโตโดยความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร) ของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง (โปรตีน : พลังงาน) (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ระยะเวลาการเลี้ยง (สัปดาห์)				
	0	4	8	12	16
1 (35:3.8)	1.1 ± 0.1	1.46 ± 0.10^{cd}	1.80 ± 0.09^{c}	2.07 ± 0.10^{de}	2.23 ± 0.10^{d}
2 (35:4.0)	1.1 ± 0.1	1.52 ± 0.02^{a}	1.91 ± 0.03^{a}	2.24 ± 0.03^{a}	2.45 ± 0.01^{a}
3 (35:4.2)	1.1 ± 0.1	1.48 ± 0.12^{bc}	1.83 ± 0.08^{bc}	2.13 ± 0.07^{cd}	2.41 ± 0.16^{bc}
4 (40:3.8)	1.1 ± 0.1	1.51 ± 0.10^{ab}	1.87 ± 0.11^{ab}	2.19 ± 0.08^{ab}	2.34 ± 0.14^{bc}
5 (40:4.0)	1.1 ± 0.1	1.51 ± 0.05^{ab}	1.88 ± 0.02^{ab}	2.17 ± 0.02^{bc}	2.37 ± 0.07^{ab}
6 (40:4.2)	1.1 ± 0.1	1.52 ± 0.06^{ab}	1.87 ± 0.07^{ab}	2.17 ± 0.08^{bc}	2.36 ± 0.10^{ab}
7 (45:3.8)	1.1 ± 0.1	1.44 ± 0.07^{d}	1.78 ± 0.09^{c}	2.06 ± 0.07^{de}	2.24 ± 0.09^{d}
8 (45:4.0)	1.1 ± 0.1	1.38 ± 0.62^{e}	1.72 ± 0.08^{d}	2.02 ± 0.05^{e}	2.18 ± 0.10^{d}
9 (45:4.2)	1.1 ± 0.1	1.49±0.05^{abc}	1.81 ± 0.03^{c}	2.08 ± 0.03^{de}	2.26 ± 0.07^{cd}

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่ซ้ำกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเติบโตโดยน้ำหนักของหอยหวาน

จากผลการศึกษาการเติบโตโดยน้ำหนัก ทั้ง 9 ชุดการทดลอง พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อทำการเลี้ยงผ่านไปเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ซึ่งมีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน (P:E) เท่ากับ 35:4.0 (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)ในอาหารทดลอง ให้ค่าการเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 0.74 ± 0.03 กรัม แตกต่างกับหอยที่ให้ชุดการทดลองอาหารที่ 1 (35:3.8), 3 (35:4.2), 7 (45:3.8), 8 (45:4.0) และ 9 (45:4.2) แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 4 (40:3.8), 5 (40:4.0), 6 (40:4.2) และเมื่อทำการทดลองผ่านไปเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ให้ค่าการเติบโตโดยน้ำหนักดีที่สุด แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 4, 5 และ 6 ส่วนในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 8 ซึ่งมีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ 45:4.0 มีการเติบโตโดยน้ำหนักต่ำที่สุด ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันเมื่อทำการทดลองใน 12 สัปดาห์ ที่ชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ให้ค่าการเติบโตโดยน้ำหนักดีที่สุด

เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ พบว่าชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ให้ค่าการเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 2.9 ± 0.09 กรัม แตกต่างกับอาหารสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ รองลงมาคือชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 6 ซึ่งมีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ 40:4.2 ในอาหารทดลอง ที่ไม่แตกต่างทางสถิติกับชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 5, 4 และ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-2 การเติบโตโดยน้ำหนักเฉลี่ย (กรัม) ของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง (โปรตีน : พลังงาน) (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ระยะเวลาการเลี้ยง(สัปดาห์)				
	0	4	8	12	16
1 (35:3.8)	0.2 ± 0.1	0.64 ± 0.12^{cd}	1.13 ± 0.18^{b}	1.74 ± 0.19^{cd}	2.25 ± 0.27^{de}
2 (35:4.0)	0.2 ± 0.1	0.74 ± 0.03^{a}	1.35 ± 0.05^{a}	2.17 ± 0.08^{a}	2.9 ± 0.09^{a}
3 (35:4.2)	0.2 ± 0.1	0.67 ± 0.13^{bc}	1.17 ± 0.15^{b}	1.84 ± 0.22^{c}	2.61 ± 0.43^{bcd}
4 (40:3.8)	0.2 ± 0.1	0.70 ± 0.11^{ab}	1.27 ± 0.19^{a}	1.98 ± 0.24^{b}	2.53 ± 0.42^{bc}
5 (40:4.0)	0.2 ± 0.1	0.71 ± 0.07^{ab}	1.28 ± 0.09^{a}	2.00 ± 0.08^{b}	2.61 ± 0.13^{b}
6 (40:4.2)	0.2 ± 0.1	0.71 ± 0.08^{ab}	1.28 ± 0.16^{a}	2.01 ± 0.25^{b}	2.65 ± 0.33^{b}
7 (45:3.8)	0.2 ± 0.1	0.60 ± 0.08^{de}	1.14 ± 0.14^{b}	1.77 ± 0.21^{c}	2.26 ± 0.24^{de}
8 (45:4.0)	0.2 ± 0.1	0.57 ± 0.26^{e}	0.99 ± 0.10^{c}	1.60 ± 0.12^{d}	2.09 ± 0.17^{e}
9 (45:4.2)	0.2 ± 0.1	0.67 ± 0.06^{bc}	1.14 ± 0.08^{b}	1.77 ± 0.07^{c}	2.33 ± 0.34^{ced}

หมายเหตุ ตัวอักษรยกที่ซ้ำกันในแนวตั้งเดียวกัน แสดงค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p<0.05$)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) อัตรารอดตาย และอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR)

ผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของชุดการทดลองอาหาร เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ (ตารางที่ 4-3) พบว่าชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 (35:4.0)มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด คือ 3.21 ± 0.11 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดอาหารทดลองที่ 1(35:3.8), 3(35:4.2), 4(40:3.8), 5(40:4.0), 6(40:4.2), 7(45:3.8) และ 8(45:4.0) แต่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดอาหารทดลองที่ 9(45:4.2) และชุดอาหารทดลองที่ 2 มีอัตรารอดดีที่สุด 100 เปอร์เซ็นต์ เท่ากับในชุดการทดลองอาหารที่ 5 ที่มีอัตรารอด 100 เปอร์เซ็นต์แต่ในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 5 นี้ มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อน้อยกว่าชุดการทดลองอาหารที่ 2 คือ 3.62 ± 0.20 รองลงมาคือในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 6 มีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อคือ 3.68 ± 0.50 มีอัตรารอด 98 เปอร์เซ็นต์ โดยชุดการทดลองอาหารที่ให้ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อน้อยที่สุดคือ ชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 1 คือ 4.72 ± 0.82 และชุดการทดลองอาหารที่ให้ค่าอัตรารอดต่ำที่สุดคือ ชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 9 คือ 67 เปอร์เซ็นต์

ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) พบว่าชุดการทดลองที่มีค่าดีที่สุดคือชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 2 ไม่มีความแตกต่างทางสถิติกับชุดอาหารทดลองที่ 3, 4, 5, 6 และ 8 โดยมีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 2.05 ± 0.03 รองลงมาคือในชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 5 มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.96 ± 0.06 และชุดการทดลองที่ให้ค่าอัตราการเติบโตจำเพาะต่ำที่สุดคือชุดการทดลองอาหารสูตรที่ 3 มีค่าอัตราการเติบโตจำเพาะเท่ากับ 1.42 ± 0.75

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-3 อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) อัตรารอดตาย (เปอร์เซ็นต์) อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) เมื่อสิ้นสุดการทดลองของหอยหวานในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง (โปรตีน : พลังงาน) (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)	อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR)	อัตรารอด (เปอร์เซ็นต์)	อัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR)
1 (35:3.8)	4.72 ± 0.82^{ab}	93^{ab}	1.76 ± 0.16^{bc}
2 (35:4.0)	3.21 ± 0.11^{a}	100^{a}	2.05 ± 0.03^{a}
3 (35:4.2)	4.10 ± 0.43^{ab}	71^{c}	1.42 ± 0.75^{ab}
4 (40:3.8)	4.22 ± 0.89^{ab}	92^{ab}	1.84 ± 0.14^{ab}
5 (40:4.0)	3.62 ± 0.20^{a}	100^{a}	1.96 ± 0.06^{ab}
6 (40:4.2)	3.68 ± 0.50^{a}	98^{ab}	1.95 ± 0.11^{ab}
7 (45:3.8)	4.61 ± 0.49^{ab}	92^{ab}	1.75 ± 0.07^{bc}
8 (45:4.0)	4.45 ± 0.14^{ab}	78^{c}	1.80 ± 0.05^{abc}
9 (45:4.2)	4.54 ± 0.11^{b}	67^{c}	1.69 ± 0.06^{c}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของหอยหวาน

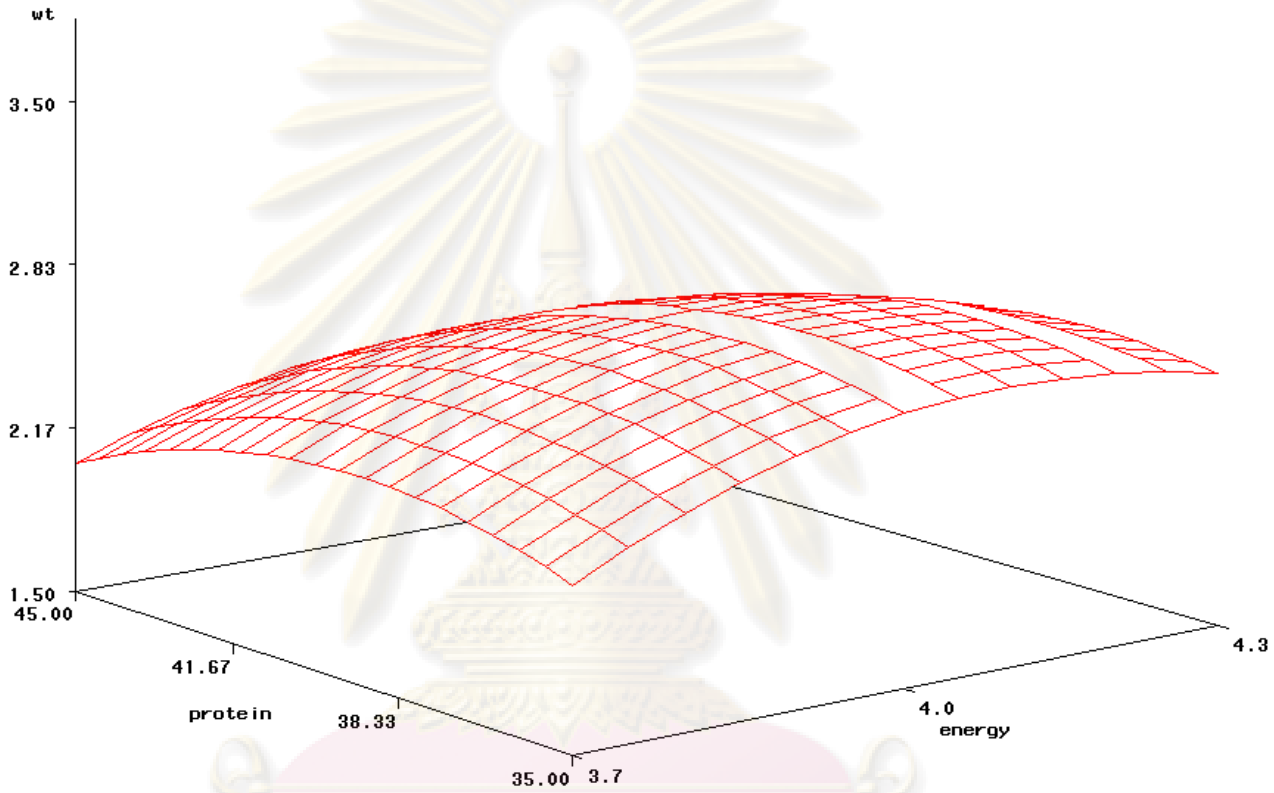
การวิเคราะห์ response surface (ดังรูปที่ 4-3) เพื่อใช้ประเมินค่าสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของหอยหวาน โดยใช้ข้อมูลการเติบโตโดยน้ำหนักเมื่อทำการทดลองเลี้ยงผ่านไป 16 สัปดาห์ได้สมการดังนี้

$$Wt = -64.32 + 0.90Prot. + 24.41En. - 0.009Prot.*Prot. - 0.05Prot.*En. - 2.76En.*En.$$

เมื่อ Wt คือน้ำหนักของหอยหวาน (กรัม), Prot. คือระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์), En. คือระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม) พบว่าสัดส่วนโปรตีนและพลังงานที่ให้การเติบโตของหอยหวานจากสมการคือโปรตีน 38.4 เปอร์เซ็นต์ และพลังงาน 4.08 กิโลแคลอรีต่อกรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wt = -64.32 + 0.90Prot. + 24.41En. – 0.009Prot.*Prot. – 0.05Prot.*En. – 2.76En.*En.



รูปที่ 4-3 การประเมินค่าสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 คุณภาพน้ำทะเลที่ใช้ในการทดลองเลี้ยงหอยหวานในระบบหมุนเวียน ในช่วงเดือนมีนาคม ถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2551

จากการทดลองเลี้ยงหอยหวานในระยะวัยรุ่นเป็นเวลา 16 สัปดาห์ โดยใช้น้ำทะเลผ่านระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิด ทำการวัดค่าความเค็ม ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) ค่าอุณหภูมิน้ำ ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณไนไตรท์ ค่าอัลคาไลนิตี้และค่า pH เพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำในแต่ละเดือน พบว่า

ค่าความเค็มอยู่ในช่วง 25 – 33 ppt โดยในเดือนที่มีค่าความเค็มสูงสุดคือเดือนมีนาคมมีค่าความเค็มเท่ากับ 33 ppt รองลงมาคือเดือนเมษายนมีค่าความเค็มเท่ากับ 32.4 ppt และเดือนที่มีค่าความเค็มต่ำสุดคือเดือนกรกฎาคมมีค่าความเค็มเท่ากับ 25 ppt และในทุกเดือนตลอดระยะเวลาการเลี้ยงมีค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อยู่ในช่วงมากกว่า 7 mg/L

ค่าอุณหภูมิน้ำอยู่ในช่วง 26 – 29 องศาเซลเซียส โดยในเดือนที่มีค่าอุณหภูมิน้ำสูงสุดคือเดือนพฤษภาคมมีค่าอุณหภูมิน้ำเท่ากับ 29.6 องศาเซลเซียส รองลงมาคือเดือนเมษายนมีค่าอุณหภูมิน้ำ 29.1 องศาเซลเซียส และเดือนที่มีค่าอุณหภูมิน้ำต่ำที่สุดคือเดือนมิถุนายนมีค่าอุณหภูมิน้ำ 26.7 องศาเซลเซียส

ปริมาณแอมโมเนีย (NH_3 – N) มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 0.4 ppm โดยในเดือนที่มีปริมาณแอมโมเนียสูงสุดคือเดือนพฤษภาคมมีค่าเท่ากับ 0.4 ppm รองลงมาคือในเดือนเมษายน เดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคมมีค่าเท่ากับ 0.25 ppm และเดือนที่มีปริมาณแอมโมเนียต่ำสุดคือเดือนมีนาคมมีค่าเท่ากับ 0 ppm

ปริมาณไนไตรท์มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 0.25 ppm โดยในเดือนที่มีปริมาณไนไตรท์สูงสุดคือเดือนพฤษภาคมมีค่าเท่ากับ 0.25 ppm รองลงมาคือเดือนเมษายนมีค่าเท่ากับ 0.05 ppm และเดือนที่มีปริมาณไนไตรท์ต่ำสุดคือในเดือนมีนาคมและเดือนกรกฎาคมมีค่าเท่ากับ 0 ppm

ค่าอัลคาไลนิตี้มีค่าอยู่ในช่วง 68 – 90 ppm$CaCO_3$ โดยในเดือนที่มีค่าอัลคาไลนิตี้สูงสุดคือเดือนกรกฎาคมคือ 90 ppm$CaCO_3$ รองลามาคือในเดือนมีนาคม เดือนเมษายนและเดือนมิถุนายนคือ 80 ppm$CaCO_3$ และเดือนที่มีค่าอัลคาไลนิตี้ต่ำสุดคือเดือนพฤษภาคมคือ 68 ppm$CaCO_3$

ค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 6.6 – 7.3 โดยในเดือนที่มีค่า pH สูงสุดคือเดือนกรกฎาคมคือ 7.3 รองลงมาคือเดือนมิถุนายนคือ 7.1 และเดือนที่มีค่า pH ต่ำสุดคือเดือนเมษายน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4-4 แสดงคุณภาพน้ำที่ใช้เลี้ยงหอยหวานในระบบหมุนเวียนน้ำแบบปิดเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์

พารามิเตอร์	เดือน				
	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม
ความเค็ม(ppt)	33 ± 0.0	32.4 ± 0.30	29.5 ± 2.5	30 ± 0.0	25 ± 0.0
ค่าออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) (mg/L)	> 7	> 7	> 7	> 7	> 7
อุณหภูมิน้ำ (^{o}C)	29 ± 0.0	29.1 ± 0.13	29.6 ± 0.7	26.7 ± 0.6	28 ± 0.0
แอมโมเนีย (ppm)	0.0	0.25 ± 0.0	0.4 ± 0.1	0.25 ± 0.0	0.25 ± 0.0
ไนไตรท์ (ppm)	0.0	0.05 ± 0.0	0.25 ± 0.1	0.03 ± 0.03	0
อัลคาไลนิตี้ (ppm$CaCO_3$)	80 ± 0.0	80 ± 0.0	68 ± 5	80 ± 20	90 ± 0.0
pH	6.7 ± 0.0	6.6 ± 0.0	7.0 ± 0.0	7.1 ± 0.2	7.3 ± 0.0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบเบื้องต้นการคงสภาพอาหารในรูปร่างที่แตกต่างกัน

ในการผลิตอาหารสำเร็จรูป สามารถเติมสารอาหารเช่น โปรตีน ไขมันหรือวิตามินลงในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการตามที่ต้องการได้ ซึ่งเป็นข้อแตกต่างของอาหารสดตามธรรมชาติกับอาหารสำเร็จรูป แต่ข้อเสียของอาหารสำเร็จรูปก็คือการคงสภาพของอาหาร อาหารสดตามธรรมชาติเช่น ปลาสด เนื้อหอยหรือหมึก จะมีการคงสภาพของชิ้นเนื้อไว้ได้ดีขณะที่ให้แก่สัตว์น้ำ ดังนั้นจึงมีการทดสอบเพื่อให้ได้อาหารสามารถคงสภาพอยู่ได้นาน หอยหวานมีการกินอาหารโดยใช้งวง (proboscis) เจาะเข้าไปในเนื้ออาหารเพื่อปล่อยน้ำย่อยออกมาแล้วดูดอาหารที่ย่อยเบื้องต้นแล้วกลับเข้าตัว(นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545) ดังนั้นอาหารที่จะใช้เลี้ยงหอยหวานควรจะมีความคงตัวอยู่ในน้ำได้ โดยเมื่อหอยหวานเจาะเข้าไปแล้วไม่แตกทันที ในการศึกษาการผลิตอาหารสำเร็จรูปสำหรับหอยหวานจึงมีการใช้ตัวประสาน (binder)ชนิดต่างๆผสมในอาหาร เช่น การใช้ polymethylocarbamide (PMC) (สุกัญญา จันทร์งาม, 2550 และ ทศพล สังข์ศิรินทร์, 2550) การใช้ sodium alginate (Zhou, J., Zhou, Q., Chi, Yang and Liu, 2007a; Zhou, Q., Zhou, J., Chi, Yang and Liu, 2007b) และการใช้ wheat gluten (ขนิษฐา แสงงาม, 2540) การศึกษานี้ใช้ wheat gluten เป็นตัวประสาน สร้างอาหาร 4 ลักษณะ ลักษณะแรกคือนำอาหารมาปั้นให้เป็นก้อนกลม ดังการศึกษาของสุกัญญา จันทร์งาม (2550) และ ขนิษฐา แสงงาม (2540) ลักษณะที่ 2 คือนำอาหารมาทำให้เป็นแผ่นแบน (คล้ายลักษณะอาหารของหอยเป๋าฮื้อ (Bautista and Millamena, 1999) พบว่าทั้ง 2 ลักษณะให้การคงสภาพของอาหารได้ไม่ถึง 10 นาทีขณะทดลอง อาจเกิดจากการทำอาหารในลักษณะกลมและแผ่นนั้นใช้มือในการปั้นจึงทำให้ก้อนอาหารมีความแน่นน้อยและด้วยเหตุผลนี้จึงทำอาหารในลักษณะที่ 3 คือการนำอาหารผสมเข้าเครื่องอัดแท่งชนิดอัดด้วยมือ (รูปที่ 3-7) โดยให้มีรูปร่างแบบแท่ง ดังการศึกษาของ Zhou, et al. (2007a), Zhou, et al. (2007b) และทศพล สังข์ศิรินทร์ (2550) พบว่าอาหารมีการคงสภาพได้ถึง 90% และได้มีการทำอาหารในลักษณะที่ 4 คือการนำอาหารผสมเข้าเครื่องอัดแท่งชนิดอัดด้วยมือเช่นเดิม แต่เปลี่ยนจากรูปร่างอาหารแบบแท่งมาเป็นรูปร่างอาหารแบบแท่งหยัก พบว่าอาหารมีการคงสภาพได้ถึง 99% เมื่อได้ลักษณะอาหารทั้ง 2 แบบที่ให้การคงสภาพดีที่สุดแล้ว จึงนำไปทดสอบโดยให้อาหารนั้นแก่ลูกหอยในระหว่างการอนุบาล พบว่าอาหารที่คงสภาพอยู่ได้หลังจากที่ลูกหอยใช้งวงเจาะเข้าไปในอาหารได้นานกว่าคืออาหารที่มีรูปร่างแบบแท่งหยัก และในการกินอาหารของหอยหวานใช้ระยะเวลาไม่ถึง 60 นาที ซึ่งไม่เกินเวลาในการคงสภาพของลักษณะอาหารชนิดนี้

ผลของโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน

ในปัจจุบันการนำอาหารสำเร็จรูปมาใช้เลี้ยงสัตว์น้ำได้รับความนิยมมาก เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย และสามารถเก็บไว้ได้นานกว่าอาหารสดตามธรรมชาติ จึงมีการศึกษาการใช้อาหารสำเร็จรูปกับสัตว์น้ำชนิดต่างๆ เริ่มตั้งแต่การทดสอบวัตถุดิบที่จะใช้ผสมในอาหารที่สัตว์น้ำสามารถย่อยได้เช่น การผสมวัตถุดิบต่างๆ อาทิ ปลาป่น กุ้งป่น ผลิตผลจากสัตว์ เมล็ดพืชต่างๆ ลงในอาหารเพื่อทดสอบการย่อยโปรตีนและพลังงานในวัตถุดิบแต่ละตัวของปลาแอตแลนติค คอด (Atlantic cod, *Gadus morhua*)(Tibbetts, Milley and Lall, 2006) การทดสอบความอยากอาหารของหอยหวานที่มีต่อวัตถุดิบแต่ละตัว (อนงค์ คูณอาจ, เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล และชลี ไพบูลย์กิจกุล, 2551)และการทดสอบระดับความต้องการสารอาหารในสัตว์น้ำชนิดต่างๆ สารอาหารหลักที่สำคัญและมีการศึกษากันมากได้แก่โปรตีนและไขมัน เช่น การศึกษาระดับของโปรตีนที่เหมาะสมต่อการเติบโตของ lobster (*Jasus edwardsii)* ในระยะวัยรุ่นที่ไขมัน 2 ระดับ (Ward, Carter, Crear and Smith, 2003) หรือการศึกษาความต้องการโปรตีนและไขมันในปลาชนิดต่าง ๆ เช่น ปลาแปซิฟิคทูน่า (*Thnnus orientalis*) (Biswas, et al., 2009) โดยที่โปรตีนเป็นสารอาหารที่ช่วยในการเติบโต จึงมีการศึกษาระดับความต้องการโปรตีนมากขึ้น เพื่อให้เหมาะสมสำหรับสัตว์น้ำแต่ละชนิดและแต่ละช่วงอายุ ซึ่งการศึกษาระดับความต้องการโปรตีนส่วนใหญ่จะทำในสัตว์น้ำวัยอ่อนจนถึงระยะวัยรุ่นและระยะเตรียมที่จะผสมพันธุ์และระยะพ่อ-แม่พันธุ์ อย่างเช่น ปลากินเนื้อ ต้องการโปรตีนอยู่ในช่วง 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ ปลากินพืชต้องการโปรตีนอยู่ในช่วงประมาณไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์ (Biswas, 2009 and Boonyaratpalin, 1997) กุ้งต้องการโปรตีนเริ่มต้นที่ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น การศึกษาความต้องการไขมันมีมากเช่นเดียวกับโปรตีน เช่นปลาต้องการไขมันประมาณไม่เกิน 18 เปอร์เซ็นต์ กุ้งต้องการไขมันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ (เวียง เชื้อโพธิ์หัก, 2542 and Boonyaratpalin, 1997) อีกทั้งไขมันยังเป็นแหล่งพลังงานของสัตว์น้ำรองลงมาจากคาร์โบไฮเดรต ดังนั้นในการเติมระดับโปรตีนหรือพลังงานควรเติมตามความต้องการของสัตว์น้ำชนิดนั้นๆ จะได้อยู่ในระดับที่พอดีต่อการเติบโต จึงมีการศึกษาความต้องการสัดส่วนของระดับโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมในสัตว์น้ำชนิดต่างๆ พบว่ามีความต้องการสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานแตกต่างกันออกไปตามชนิดของสัตว์น้ำ เช่น Jundai (*Rhamdia quelen*) ปลาในตระกูล catfish เท่ากับ 41 เปอร์เซ็นต์: 3200 กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัม ในปลา Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) คือ 41 เปอร์เซ็นต์โปรตีน:12 เปอร์เซ็นต์ไขมัน (สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ 25.9 มิลลิกรัมโปรตีนต่อกิโลจูล) (Meyer and Fracalossi, 2004; Ai, et al., 2004) ในปู mud crab (*Scylla serrata*) ที่มีความต้องการสัดส่วนโปรตีนในช่วง 32-40 เปอร์เซ็นต์ต่อระดับพลังงานในช่วง 14.7-17.6 เมกะจูลต่อกิโลกรัม (Catacutan, 2002) ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมของหอยหวานโดยใช้ไขมันเป็นแหล่งของพลังงาน จากผลการศึกษาสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมต่อการ

เติบโตของหอยหวานระยะวัยรุ่นทั้งการเติบโตโดยความยาวเปลือก และการเติบโตโดยน้ำหนัก ที่ทำการทดลองเลี้ยงเป็นเวลา 16 สัปดาห์ พบว่า ชุดอาหารทดลองที่ 2 ซึ่งมีระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน 35 เปอร์เซ็นต์ : 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม มีการเติบโตโดยความยาวเปลือก และการเติบโตโดยน้ำหนักโดยรวมดีที่สุด นิยม วงศ์ใหญ่, Yakupiyake, Gallardo และนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ (2551) ที่ทำการศึกษาผลของระดับโปรตีนที่เหมาะสมของหอยหวานในระยะวัยรุ่นพบว่าที่ระดับ 35 เปอร์เซ็นต์ ให้การเติบโตดีที่สุด และมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของสุกัญญา จันทร์งาม (2550) พบว่าระดับโปรตีนที่ 36 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10 เปอร์เซ็นต์ให้การเติบโตดีที่สุดทั้งในด้านความยาวเปลือกและน้ำหนักโดยใช้ระยะเวลาการเลี้ยง 24 สัปดาห์ แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีระดับไขมันที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสูงกว่าคือ 15 เปอร์เซ็นต์แต่ใช้ระยะเวลาในการเลี้ยงที่สั้นกว่าคือ 16 สัปดาห์ ให้ค่าการเติบโตทั้งโดยน้ำหนักและความยาวเปลือกเฉลี่ยที่ดีกว่า ดังนั้นหากเพิ่มระดับพลังงานให้มากขึ้นในอาหารจะช่วยให้การเติบโตดีขึ้นและใช้ระยะเวลาที่สั้นลงด้วย Zhou, et al. (2007b) ซึ่งใช้ระดับโปรตีนในอาหารที่สูงคือ 43 เปอร์เซ็นต์ และไขมัน 5.91 เปอร์เซ็นต์ ให้พลังงาน 3.6 กิโลแคลอรีต่อกรัมให้การเติบโตของหอยหวานดีที่สุด เนื่องจากหอยหวานที่ใช้ในงานวิจัยนั้นมีขนาดเริ่มต้นที่ใหญ่กว่า มีอัตราการกินที่สูงกว่า และเลี้ยงในอัตราความหนาแน่นที่น้อยทำให้หอยเติบโตได้ดี แต่การใช้ระดับโปรตีนที่สูงในอาหารนั้นทำให้ต้นทุนการผลิตอาหารมีราคาค่อนข้างสูง จึงควรมีการปรับลดระดับโปรตีน โดยเสริมแหล่งพลังงานอื่นๆ ลงไปเพื่อช่วยให้การใช้โปรตีนในการเติบโตมีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการศึกษาในครั้งนี้ระดับไขมันที่ใช้เป็นแหล่งของพลังงานที่ให้การเติบโตดีที่สุดคือ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยให้ระดับพลังงานเท่ากับ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม หรือประมาณ 16.8 เมกะจูลต่อกิโลกรัม สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen, et al.(2005) ที่ทำการศึกษาผลของการนำอาหารไปใช้และผลของอาหารต่อการเติบโตของ *Babylonia formasae habei* ในระยะวัยรุ่นโดยมีระดับพลังงานที่ 16.04 และใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Zhou, et al. (2007a) ซึ่งศึกษาในหอยหวานระยะวัยรุ่น พบว่าที่ระดับไขมันประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์หรือให้ค่าพลังงานประมาณ 3.6 กิโลแคลอรีต่อกรัม ให้การเติบโตดี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการใช้ระดับโปรตีนที่ 35 เปอร์เซ็นต์ ในอาหารของหอยหวานระยะวัยรุ่น แต่ควรเพิ่มระดับพลังงานให้สูงขึ้น ซึ่งจากการวิเคราะห์ response surface เพื่อประเมินค่าสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสม โดยใช้การเติบโตโดยน้ำหนักรวมเป็นข้อมูลในการคำนวณ ได้สัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสูตรอาหารสำเร็จรูปของหอยหวานที่ ระดับโปรตีน: พลังงาน 38.4 เปอร์เซ็นต์: 4.08 กิโลแคลอรีต่อกรัม ที่จะให้ค่าการเติบโตสูงสุด

อัตรารอดและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ

การศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่ออัตรารอดของหอยหวาน ซึ่งสอดคล้องกับ Zhou, et al. (2007a), ขนิษฐา แสงงาม (2540), นิยม วงศ์ใหญ่และคณะ (2551) และ Chen, et al. (2005) ที่ทำการศึกษาในลูกหอยหวานในระยะเดียวกัน การตายของหอยหวานในระหว่างการทดลองเลี้ยง ส่วนใหญ่เกิดจากการที่ลูกหอยคืบคลานออกมาจากตะกร้าเลี้ยงและไม่ได้รับอาหารจึงทำให้ตาย ซึ่งสาเหตุการตายของหอยในระหว่างการเลี้ยงเกิดในลักษณะเดียวกัน (สุกัญญา จันทร์งาม, 2550)

จากผลการศึกษาพบว่าในชุดอาหารทดลองที่ 2 ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดคือ 3.21 ± 0.11 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของนิยม วงศ์ใหญ่และคณะ (2551) ที่ระดับโปรตีนในอาหารทดลอง 35 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุด แต่ในการศึกษาครั้งนี้มีค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อที่สูงกว่าที่มีการศึกษาลูกหอยหวานในระยะเดียวกัน (Zhou et al., 2007a, Zhou et al., 2007b และนิยม วงศ์ใหญ่และคณะ, 2551)

คุณภาพน้ำทะเล

ทำการทดลองในช่วงเดือนมีนาคม 2551 ถึง เดือนกรกฎาคม 2551 โดยในช่วงเดือนแรกๆ อากาศค่อนข้างร้อน อุณหภูมิของน้ำค่อนข้างสูง ความเค็มของน้ำทะเลที่สูบเข้ามาใช้ในระบบเลี้ยงจะมีค่าประมาณ 33 ppt แต่เมื่อถึงเดือนพฤษภาคมเริ่มมีฝนตกหนัก ทำให้ความเค็มของน้ำทะเลที่สูบเข้ามาใช้ในระบบมีค่าลดลงเหลือเพียง 29 ppt และลดลงมากที่สุดในเดือนสุดท้ายของการทดลองคือเดือนกรกฎาคมมีความเค็มเหลือเพียง 25 ppt ซึ่งที่ความเค็มประมาณ 25 – 33 pptในช่วงนี้ลูกหอยยังสามารถดำรงชีวิตและเติบโตได้ (นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์และศิรุษา กฤษณะพันธุ์, 2545) ค่า pH อยู่ในช่วง 6 – 7 อุณหภูมิอยู่ในช่วง 26 – 29 องศาเซลเซียส แอมโมเนียมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 0.4 ppm และค่าไนไตรท์อยู่ในช่วง 0 – 0.25 ppm ซึ่งยังไม่ถึงระดับอันตราย (Cheung and Wong, 1998) สอดคล้องกับการศึกษาของยุวดี อัณฑสูตร และคณะ (2551) ที่ศึกษาการขับถ่ายแอมโมเนียของลูกหอยหวานในระยะวัยอ่อน ที่กำหนดช่วงปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ที่ต่ำกว่า 0.5 จึงจะไม่เป็นพิษต่อลูกหอย หากพบว่าเริ่มที่จะมีปริมาณแอมโมเนียหรือไนไตรท์สูงเกินไป ควรทำการเปลี่ยนน้ำทันทีเพื่อไม่ให้เป็นอันตรายต่อลูกหอย ส่วนค่าอัลคาลินิตี้ในการศึกษานี้อยู่ในช่วง 68 – 90 ppm $CaCO_3$ ซึ่งค่าที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงมากกว่า 100 ppm $CaCO_3$ ในการศึกษานี้จึงพบการเปลือกลอกที่ปลายสุดของเปลือกบ้าง แต่พบไม่มาก ในระบบการเลี้ยงควรมีการเติมเปลือกหอยนางรมหรือหอยชนิดต่างๆ ลงในน้ำเพื่อเป็นการเพิ่มค่าอัลคาลินิตี้ของน้ำได้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

การทดสอบการคงสภาพของอาหาร

จากผลการทดสอบการคงสภาพในรูปร่างอาหารที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาทีพบว่ารูปร่างอาหารที่ให้การคงสภาพของอาหารดีที่สุดคือรูปร่างอาหารแบบแท่งหยัก รองลงมาคือรูปร่างอาหารแบบแท่ง แบบทรงกลมและแบบแผ่น ในการทดลองนี้จึงใช้รูปร่างอาหารแบบแท่งหยักในการเลี้ยงหอยหวาน

ผลของโปรตีนและพลังงานที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน

จากการศึกษาผลของระดับโปรตีน 3 ระดับ และพลังงาน 3 ระดับ แบ่งได้เป็น 9 ชุดการทดลอง พบว่าชุดอาหารทดลองที่ 2 ซึ่งมีสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงาน เท่ากับ 35:4 (เปอร์เซ็นต์:กิโลแคลอรีต่อกรัม)ให้ผลการเติบโตทั้งในด้านความยาวเปลือกและน้ำหนักดีที่สุด เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 16 สัปดาห์ โดยมีความยาวเปลือกเฉลี่ยเท่ากับ 2.45 ± 0.01เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 ± 0.09 กรัม อัตราการเติบโตโดยความยาวเปลือกเท่ากับ 0.34 ± 0.00 เซนติเมตรต่อ 4 สัปดาห์ อัตราการเติบโตโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.68 ± 0.02 กรัมต่อ 4 สัปดาห์

จากผลการศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานต่อการเติบโตโดยความยาวเปลือก พบว่าระดับโปรตีนที่ให้ผลการเติบโตดีที่สุดคือ 35 เปอร์เซ็นต์ โดยให้การเติบโตเท่ากับ 0.32 ± 0.03 เซนติเมตรต่อ 4 สัปดาห์ และระดับพลังงานที่ให้ผลการเติบโตดีที่สุดคือ ระดับ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม โดยให้การเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.31 ± 0.04 เซนติเมตรต่อ 4 สัปดาห์

จากผลการศึกษาระดับโปรตีนและพลังงานต่อการเติบโตโดยน้ำหนัก พบว่าระดับโปรตีนที่ให้ผลการเติบโตดีที่สุดคือ 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้การเติบโตเท่ากับ 0.60 ± 0.02 กรัมต่อ 4 สัปดาห์ และระดับพลังงานที่ให้ผลการเติบโตดีที่สุดคือ ระดับ 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม โดยให้การเติบโตเฉลี่ยเท่ากับ 0.58 ± 0.10 กรัมต่อ 4 สัปดาห์

จากการศึกษาอาหารทดลองทั้ง 9 ชุดในครั้งนี้ สรุปได้ว่าระดับสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานที่เหมาะสมสำหรับการเติบโตของหอยหวานระยะวัยรุ่น ทั้งในด้านความยาวเปลือกและน้ำหนักคือชุดอาหารทดลองที่ 2 ที่มีค่าสัดส่วนโปรตีนต่อพลังงานเท่ากับ 35 เปอร์เซ็นต์: 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม และอาหารทดลองที่มีระดับโปรตีนสูงและพลังงานที่ระดับ 45 เปอร์เซ็นต์:4 กิโลแคลอรีต่อกรัมให้การเติบโตโดยความยาวเปลือก และน้ำหนักต่ำกว่าอาหารทดลองในสูตรอื่นๆ

จากผลการศึกษาอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (FCR) พบว่าชุดอาหารทดลองที่ 2 (P:E 35 เปอร์เซ็นต์:4.0 กิโลแคลอรีต่อกรัม) ให้อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อดีที่สุดคือ 3.21 ± 0.11 และอัตรารอดเฉลี่ยของชุดการทดลองนี้เท่ากับ 100% ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตรารอดเฉลี่ยของชุดอาหารทดลองที่ 5 (P:E 40:4.0) ส่วนผลการศึกษาอัตราการเติบโตจำเพาะ (SGR) พบว่าในชุดอาหารทดลองที่ 2 (P:E 35:4.0)ให้อัตราการเติบโตจำเพาะดีที่สุดคือ 2.05 ± 0.03

จากผลการวัดคุณภาพน้ำที่พารามิเตอร์ต่างๆ สรุปได้ว่าค่าความเค็มที่เหมาะสมอยู่ที่ช่วง 28 – 33 ppt อุณหภูมิของน้ำไม่ควรต่ำกว่า 28 องศาเซลเซียส ค่าแอมโมเนียและไนไตรท์ไม่ควรเกิน 0.25 ppm และค่าอัลคาลินิตี้ควรมีค่าตั้งแต่ 100 ppm $CaCO_3$ โดยช่วงที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำทะเลดีที่สุดในบริเวณสถานีวิจัยสัตว์ทะเลอ่างศิลาคือในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองในครั้งนี้ พบว่าหอยหวานมีอาการเปลือกลอกบ้างที่บริเวณปลายสุดของเปลือกหอยจึงควรมีการปรับค่าอัลคาลินีตี้ เช่นการเติมเปลือกหอยหรือการเติมแคลเซียมลงในระบบเลี้ยงให้มีค่ามากกว่า 100 ppm $CaCO_3$ ตลอดการเลี้ยงเพื่อป้องกันการเปลือกลอก
2. ลูกหอยหวานในระยะวัยรุ่นนี้มีพฤติกรรมที่ชอบคืบคลาน จึงควรหาหน่วยทดลองที่ป้องกันการคืบคลานออกมานอกหน่วยทดลองได้ เช่น การใช้ตะกร้าที่มีฝาปิดมิดชิด ก็จะช่วยป้องกันการคืบคลานออกมาของลูกหอย เป็นการเพิ่มอัตรารอดได้
3. ในการศึกษาการใช้อาหารสำเร็จรูปกับหอยหวานต่อไปในอนาคต ควรมีการพัฒนารูปร่างของอาหารให้เป็นมาตรฐานมากขึ้น ซึ่งอาจใช้รูปร่างอาหารแบบแท่งหยักเช่นเดียวกับการวิจัยในครั้งนี้ แต่ควรปรับขั้นตอนการผลิตให้สะดวกต่อการทำอาหารในปริมาณมากเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปปรับใช้ในฟาร์มเลี้ยงจริงได้
4. ไม่ควรสร้างโรงเรือนอยู่ใกล้หรือตรงกับประตูทางเข้าหรือออกของสถานที่ทดลองมากจนเกินไป เพราะจะทำให้กีดขวางรถที่จะเข้าออก หรืออาจเกิดอุบัติเหตุได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองบรรณาธิการ. 2552. อัพเดทสถานการณ์หอยหวานต้องมุ่งตลาดภายใน. ธุรกิจสัตว์น้ำ Aquatic business magazine. 3(34): 77 – 78.

บพิธ จารุพันธุ์ และนันทพร จารุพันธุ์. 2547. สัตววิทยา zoology. ครั้งที่ 4. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ขนิษฐา แสงงาม. 2540. ผลของโปรตีนและไขมันในอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่มีต่อการเจริญเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata*. เอกสารโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทศพล สังข์ศิรินทร์. 2550. ผลของแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารผสมต่อการเติบโต และอัตราการรอดของหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link 1807) ในระบบการเลี้ยงแบบน้ำทะเลหมุนเวียน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิยม วงศ์ใหญ่, Yakupiyake, A., Gallardo, W.G. และนิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์. 2551. ผลของระดับโปรตีนและส่วนประกอบในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต การรอดตาย และอัตราการแลกเนื้อของลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link1807). ในเอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการและเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจรของประเทศไทย”. 16 กุมภาพันธ์ 2551 ณ ห้องโกเมน โรงแรมไดมอนด์พลาซ่า อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และศิรุษา กฤษณะพันธุ์. 2545. คู่มือการเพาะเลี้ยงหอยหวาน หลักการและแนวการปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุวดี อัณฑสูตร, สรวิศ เผ่าทองสุข, จันทร์สว่าง งามผ่องใส, เสรี ดอนเหนือ, นิลนาจ ชัยธนาวิสุทธิ์ และสมเกียรติ ปิยะธีรธิติวรกุล. 2551. การอนุบาลลูกหอยหวานด้วยระบบหมุนเวียนน้ำทะเลแบบปิด.ในเอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการและเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจรของประเทศไทย”. 16 กุมภาพันธ์ 2551 ณ ห้องโกเมน โรงแรมไดมอนด์พลาซ่า อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

ลือชัย ดรุณชู และเกียรติศักดิ์ เสนะวีณิน. การเลี้ยงหอยหวาน *Babylonia areolata* Link1807 ในกระบะพลาสติก [Online]. 2545. แหล่งที่มา: http://www.fisheries.go.th/cf-chan [2009, Febuary26]

ลือชัย ดรุณชู และเกียรติศักดิ์ เสนะวีณิน. 2547. การเลี้ยงหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link1807) ด้วยอาหารที่ต่างกัน 3 ชนิด. ในรายงานการสัมมนาวิชาการประมงปี 2547, 111 – 119. 7-9 กรกฎาคม 2547 ณ ห้องประชุมกรมประมง.

วุฒิพร พรหมขุนทอง. 2541. โภชนาศาสตร์สัตว์น้ำ (Aquatic Animal Nutrition). ภาควาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2542. โภชนศาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุกัญญา จันทร์งาม. 2550. ผลของโปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตต่อการเติบโต และการรอดของหอยหวาน *Babylonia areolata*. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อนงค์ คูณอาจ, เบ็ญจมาศ ไพบูลย์กิจกุล และชลี ไพบูลย์กิจกุล. 2551. ผลของระดับโปรตีนและส่วนประกอบในอาหารต่ออัตราการเจริญเติบโต การรอดตาย และอัตราการแลกเนื้อของลูกหอยหวาน (*Babylonia areolata* Link1807). ในเอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการและเสนอผลงานวิจัยเรื่อง “การวิจัยและพัฒนาเพื่อการเพาะและเลี้ยงหอยหวานเชิงพาณิชย์แบบครบวงจรของประเทศไทย”. 16 กุมภาพันธ์ 2551 ณ ห้องโกเมน โรงแรมไดมอนด์พลาซ่า อำเภอเมือง จังหวัดสุราษฎร์ธานี.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Ai, Q., Mai, K., Li, H., Zhang, C., Zhang, L., Duan, Q., Tan, B., Xu, W., Ma, H., Zhang, W. and Liufu, Z. 2004. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 230: 507 – 516.

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed., vol.1. Association of Official Analysis Chemists, Arlington, VA, USA.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis, 16th ed., vol.1. Association of Official Analysis Chemists, Arlington, VA, USA.

Bautista – Teruel, M.N. and Millamena, O.M. 1999. Diet development and evaluation for juvenile abalone, *Haliotis asinine*: protein/energy levels. Aquaculture 178: 117 – 126.

Biswas, B.K., Ji, S.C., Biswas, A.K., Seoka, M., Kim, Y.S., Kawasaki, K. and Takii, K. 2009. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna *Thnnus orientalis* juvenile. Aquaculture 288: 114 – 119.

Boonyaratpalin, M. 1997. Nutrient requirements of marine food fish cultured in Southeast Asia. Aquaculture 151: 283 – 313.

Brafield, A.E. and Llewellyn, M.J. 1982. Tertiary level biology Animal Energetics. Chapman ad hall, New York.

Catacutan, M.R. 2002. Growth and body composition of juvenile mud crab, *Scylla serrata*, fed different dietary protein and lipid levels and protein to energy ratios. Aquaculture 208: 113 – 123.

Chen, Y., Ke, C.H., Zhou, S.Q. and Li, F.X. 2005. Effects of food availability on feeding and growth of cultivated juvenile *Babylonia formosae habei* (Altena & Gittenberger 1981). Aquaculture Research 36: 94 – 99.

Cheung, S.G. and Wong, L.S. 1998. Physiological responses of the subtidal prosobranch, *Babylonia lutosa* (Gastropoda: Buccinidae), to copper. The Science of the Total Environment 214: 185 – 191.

Chuntapa, B., Piyatiratitivorakul, S., Nitithamyong, C., Viyakarn, V. and Menasveta, P. 1999. Optimal lipid:carbohydrate and protein:energy ratios in semi-purified diets for juvenile black tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius. Aquaculture Research 30: 825 – 830.

Enes, P., Panserat, S., Kaushik, S. and Oliva-Teles, A. 2008. Growth performance and metabolic utilization of diets with native and waxy maize starch by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. Aquaculture274: 101 – 108.

Freund, R.J. and Littell, R.C. 2000. SAS system for Regression. 3rd. SAS publishing, 138 – 147.

Gauquelin, F., Cuzon, G., Gaxiola, G., Rosas, C., Arena, L., Bureau, D.P. and Cochard, J.C. 2007. Effect of dietary protein level on growth and energy utilization by *Litopenaeus stylirostris* under laboratory conditions. Aquaculture271: 439 – 448.

Gomez – Montes, L., Garcia – Esquivel, Z., D'Abramo, L.R., Shimada, A., Vasquez – Pelaez, C. and Viana, M.T. 2003. Effect of dietary protein:energy ratio on intake, growth and metabolism of juvenile green abalone *Haliotis fulgens*. Aquaculture 220: 769 – 780.

Lupatsh, I., and Kissil, G., Wm. 2005. Feed formulations based on energy and protein demands in white grouper (*Epinephelus aeneus*). Aquaculture 248: 83 – 95.

Meyer, G. and Fracalossi, D.M. 2004. Protein requirement of jundai fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 240: 331 – 343.

Piyatiratitivorakul, S. 1988. The life history and bioenergetics relations in the grass shrimp, *Palaemonetes pugio* holthuis. Department of Biology University of South Carolina.143 – 144.

Raymond, J., Himmelman J.H. and Guderley, H.E. 2007. Biochemical content, energy composition and reproductive effort in the broadcasting sea star *Asterias vulgaris* over the spawning period. Journal of experimental marine biology and ecology 341: 32 – 44.

Tibbetts, S.M., Milley, J.E. and Lall, S.P. 2006. Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus,1758). Aquaculture 261: 1314 – 1327.

Viana, M.T., D'Abramo, L.R., Gonzalez, M.A., Garcia-Suarez, J.V., Shimada, A. and Vasquez-Pelaez, C. 2007. Energy and nutrient utilization of juvenile green abalone (*Haliotis fulgens*) during starvation. Aquaculture 264: 323—329.

Wang, Y., Guo, J., Li, K. and Bureau, D.P. 2006. Effects of dietary protein and energy levels on growth, feed utilization and body composition of cuneate drum (*Nibea miichthioides*). Aquaculture 252: 421 – 428.

Ward, L.R., Carter, C.G., Crear, B.J. and Smith, D.M. 2003. Optimal dietary protein level for juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii*, at two lipid levels. Aquaculture 217: 483 – 500.

Zhou, J., Zhou, Q., Chi, S., Yang, Q. and Liu, C. 2007a. Optimal dietary protein requirement for juvenile ivory shell, *Babylonia areolata*. Aquaculture 270: 186 – 172.

Zhou, Q., Zhou, J., Chi, S., Yang, Q. and Liu, C. 2007b. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and digestive enzyme of juvenile ivory shell,*Babylonia areolate*. Aquaculture 272: 535—540.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

1. การวิเคราะห์ความชื้น

1) นำขวดชั่งเข้าตู้อบอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที และทำให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) ชั่งและบันทึกน้ำหนักของขวดชั่งโดยละเอียด

3) ชั่งตัวอย่างใส่ขวดชั่งประมาณ 2 กรัม โดยบันทึกน้ำหนักอย่างละเอียด

4) นำตัวอย่างเข้าตู้อบ โดยใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

5) นำตัวอย่างที่อบแล้วใส่โถดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น บันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง

6) ทำซ้ำตามข้อ 1 ถึง 5 จนกระทั่งน้ำหนักที่ได้คงที่ โดยน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของความชื้น

คำนวณ % ความชื้นด้วยสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(a - b)}{w} \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของอาหารก่อนอบแห้ง

b = น้ำหนักของอาหารหลังอบแห้ง

w = น้ำหนักของอาหารก่อนอบ

2. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า

1) ชั่งตัวอย่างอาหาร 2 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ

2) นำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จนเถ้ามีสีขาว

3) นำเข้าโถอบแห้ง เพื่อให้ดูดความชื้น และเมื่อตัวอย่างอาหารเย็นดีแล้ว นำออกชั่งทันที

คำนวณ % เถ้าจากสมการ

$$\% \text{ เถ้า} = \frac{(b - a)}{w} \times 100$$

เมื่อ a = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบ

b = น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องเคลือบกับน้ำหนักของเถ้าหลังการเผา

w = น้ำหนักของอาหารก่อนเผา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การวิเคราะห์หาโปรตีน

สารเคมี

1) กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เข้มข้น 93-98 %

2) สารเร่งรวม (catalyst mixture)

ชั่งคอบเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4$) 7 กรัม กับโปแตสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) 100 กรัม ผสมให้เข้ากัน

3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45 % (NaOH)

โดยละลาย 450 กรัม ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ชนิดเกล็ด ในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร

4) สารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล

ละลายกรดเกลือ 9 มิลลิลิตร ลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร

5) กรดบอริก (H_3BO_3) 4 %

ต้มน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ให้ร้อนแล้วใส่ผงกรดบอริคลงไป 4 กรัม ต้มจนละลายหมด ทิ้งไว้จนสารเย็นแล้วจึงเติมน้ำกลั่นให้ครบ 100 มิลลิลิตร

6) อินดิเคเตอร์ผสมระหว่าง เมทธิลเรด และเมทธิลีนบลู

ละลายเมทธิลเรด 0.2 กรัม ในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร และละลายเมทธิลีนบลู 0.2 กรัมในแอลกอฮอล์ 95% ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำสารละลายเมทธิลเรด 2 ส่วน ผสมกับสารละลายเมทธิลีนบลู 1 ส่วน เขย่าให้เข้ากัน

7) เมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ (methyl orange indicator)

ละลายเมทิลออเรนซ์ 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 100 มิลลิลิตร

8) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 0.1 นอร์มอล

อบโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 260-270 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ชั่งสารมา 1.325 กรัม เติมน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร

วิธีการ

ขั้นตอนการย่อย (digestion)

1) ชั่งตัวอย่างอาหารให้ได้น้ำหนักประมาณ 0.3 กรัม โดยชั่งด้วยกระดาษกรองที่ปราศจากสารไนโตรเจน แล้วใส่ในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีน

2) เติมสารเร่งรวม 3 กรัม เพื่อเป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อย

3) เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร

4) นำไปย่อยด้วยชุดเครื่องย่อยโปรตีน ที่อุณหภูมิ 375 องศาเซลเซียส กระทั่งสารละลายในขวดแก้ววิเคราะห์โปรตีนใส ทิ้งไว้ให้เย็น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการกลั่น

1) เมื่อสารละลายเย็นดีแล้ว จึงเติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 20 มิลลิลิตร

2) ใส่ลูกแก้ว 2 ลูก เพื่อป้องกันการกระแทกของสารละลาย

3) ต่อขวดแก้วโปรตีนเข้ากับเครื่องกลั่นที่มีขวดปากแคบวัดปริมาตร ซึ่งมีกรดบอริคอยู่ 40 มิลลิลิตร โดยให้ปลายของหลอดแก้วที่ต่อจากกระบอกแก้วควบแน่นจุ่มอยู่ในกรดบอริค เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในขวดแก้ววิเคราะห์อย่างช้าๆ จนกระทั่งสารละลายมีสีดำ

4) ใส่อินดิเคเตอร์ในกรดบอริค 2-3 หยด

5) ทำการกลั่นจนกระทั่งไม่มีแก๊สแอมโมเนียออกมาแล้วทำการกลั่นต่อไปอีก 10 นาที แล้วล้างปลายเครื่องกลั่นด้วยน้ำกลั่น นำขวดปากแคบวัดปริมาตรออกจากเครื่องกลั่น

ขั้นตอนการไตเตรท (titration)

1) นำไปไตเตรทด้วยกรดเกลือมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น 0.1 นอร์มอล จนถึงจุดยุติ (end point) โดยใช้อินดิเคเตอร์รวม สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินอ่อน

2) จดปริมาตรของกรดเกลือไว้เพื่อคำนวณต่อไป

การคำนวณ

$$\% \text{ โปรตีน} = \frac{1.4 \times (V1-V2) \times N \times 6.25}{W}$$

เมื่อ V1 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

V2 = ปริมาตรของกรดมาตรฐานที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างที่ใช้ตรวจสอบ

N = ความเข้มข้นของกรดเป็นนอร์มอล

W = น้ำหนักตัวอย่างอาหาร

การตรวจหาความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือมาตรฐาน

ดูดสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 40 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เติมเมทิลออเรนซ์ อินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดเกลือ 0.1 นอร์มอล คำนวณความเข้มข้นของสารละลายกรดเกลือโดยใช้สูตร

$$N1V1 = N2V2$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. การวิเคราะห์หาไขมัน (ใช้เครื่อง Sotex system HT6)

สารเคมี

1) สารละลายคลอโรฟอร์ม (chloroform)

2) เมธานอล (methanol)

วิธีการ

1) อบถ้วยพร้อมลูกแก้ว ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 8 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น

2) อบตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 คืน ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น

3) ชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว (W1)

4) ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ใส่กระดาษกรองประมาณ 1-2 กรัม (W2) ห่อให้มิดชิดใส่ลงในไส้กรอง (thimble) ที่เตรียมไว้ นำไปใส่เข้าเครื่อง Sotex system HT6

5) นำถ้วยพร้อมลูกแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้วมาเติมคลอโรฟอร์ม : เมทานอล ในอัตราส่วน 2:1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร แล้วใส่เข้าเครื่องให้เรียบร้อย

6) เปิดเครื่อง ปรับอุณหภูมิไปที่ 160 องศาเซลเซียส เปิดน้ำเข้าเครื่อง เปิดวาล์ว เลื่อนปุ่มไปที่ boiling ต้มให้เดือด 30 นาที

7) เลื่อนปุ่มไปที่ rinsing เพื่อล้างตัวอย่าง 20 นาที

8) เปิดวาล์ว เปิดสวิทซ์อากาศ เลื่อนปุ่มไปที่ evaporation เพื่อให้สารระเหยออกไป 5 นาที

9) ปิดเครื่อง อากาศและน้ำ แล้วเลื่อนปุ่ม evaporation กลับที่เดิม นำถ้วยออกจากเครื่องแล้วนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 คืน

10) นำถ้วยออกมาใส่โถดูดความชื้น ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก (W3)

การคำนวณหา % ไขมัน

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{(W3 - W1) \times 100}{W2}$$

เมื่อ W1 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้ว

W2 = น้ำหนักตัวอย่าง

W3 = น้ำหนักถ้วยพร้อมลูกแก้วและไขมันหลังอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. การวิเคราะห์หาพลังงาน (ใช้เครื่อง Parr solution calorimeter 1261)

หลักการที่สำคัญของการทดลอง

นำสารตัวอย่างใส่ลงใน combustion bomb อัดก๊าซ O_2 เข้าไปแล้วจึงเปิดสวิทช์เพื่อให้เกิดการเผาไหม้ขึ้น วัดอุณหภูมิใน bucket ที่เพิ่มขึ้น แล้วนำมาคำนวณ ในตอนแรกต้องเผาสารตัวอย่างมาตรฐานที่ทราบค่าความร้อนของการเผาไหม้ก่อน เพื่อจะได้นำไปคำนวณความจุความร้อนของระบบ ตอนหลังจึงนำค่าความจุความร้อนของระบบมาคำนวณความร้อนของการเผาไหม้องสารตัวอย่างอื่นๆ (กรณีนี้ใช้ Isoperibol bomb calorimeter ระบบ computer ใน calorimeter จะคำนวณให้)

สารเคมี

1) กรดเบนโซอิก

วิธีการ

ตอนที่ 1 หาความจุความร้อนของระบบ

1) เปิดสวิทช์หลังเครื่องไฟจะติดตาม Data entry ต่างๆ และจะดับไป คงเหลือแต่ส่วนที่จะใช้งานซึ่งถ้าไฟไม่ติดแสดงว่า circuit board อาจจะหลวม

2) กด F1 เพื่อให้ bomb heater และน้ำเย็นเข้าเครื่องโดย warm up ประมาณ 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ เมื่ออุณหภูมิคงที่ ไฟ standby จะปรากฏขึ้น (หมายถึงอุณหภูมิที่ตั้งใช้ตาม main menu) ซึ่งการกด start ทุกครั้ง จะต้องมีไฟ standby ปรากฏขึ้น มิฉะนั้นเครื่องจะไม่พร้อมที่จะทำงาน (F1 เป็น on-off switch)

3) ตรวจดู main menu โดยกด *50 เครื่องจะ print main menu ออกมาให้ดู ซึ่งถ้าต้องการแก้ไขข้อใด ก็กดตัวเลขของข้อนั้น และ enter เข้าเครื่อง เครื่องจะพิมพ์ข้อที่เราเลือกออกมาให้ดู และ enter ข้อมูลที่ต้องการเข้าเครื่องอีกครั้ง ซึ่งเมื่อตรวจดูและแก้ไขจนครบแล้วจึงกด clear

4) ตรวจดูหมายเลขของ sample ID ที่ memory ไว้ในหน่วยความจำของเครื่องว่ามีเลขใดใช้แล้วบ้าง เพราะถ้ากดซ้ำกับที่ใช้ไปแล้ว จะทำให้เกิด error เครื่องจะไม่รับเลขที่ซ้ำกับที่ใช้ไปแล้ว การตรวจทำได้โดยการกด *4 และกด step key ดูว่ามีเลขใดบ้าง ซึ่งถ้าต้องการจะลบทิ้งก็ให้กด *20 และ enter หมายเลข sample ID นั้น ครั้งละเบอร์จนครบทุกตัวหรือต้องการจะลบทิ้งครั้งละหลายเบอร์โดยใช้ กดปุ่ม (.) แทนเช่น 0 – 100 ก็กด 0.100 เป็นต้น

5) เตรียมกรดเบนโซอิก โดยชั่งกรดเบนโซอิก ประมาณ 0.8 กรัม นำมาทำให้เป็นเม็ดโดย pellet press แล้วนำไปชั่งอย่างละเอียดอีกครั้งใน combustion cup

6) ตัด fuse wire 10 cm (วัดความยาวที่แน่นอนอย่างละเอียด) ผูกเข้ากับขั้วไฟฟ้าใน combustion bomb เมื่อวางสารตัวอย่างลงในถ้วยแล้ว ปรับระดับ fuse wire ให้พอดี อย่าให้แตะถูกกับสารตัวอย่างหรือถ้วยที่ใส่สารตัวอย่าง และอย่าให้อยู่สูงจากสารตัวอย่างมากนัก

7) เติมน้ำลงใน combustion bomb เล็กน้อย (ประมาณ 1 ml) เพื่อทำหน้าที่ละลายออกไซด์ของไนโตรเจนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของอากาศภายใน bomb แล้วจึงปิดฝา bomb ให้แน่น

8) เติม O_2ลงใน combustion bomb โดยตั้ง pressure gauge ไว้ที่ 450 psi (ปกติจะปรับตั้งความดันไว้แล้วที่ 450 psi) จากนั้นบรรจุ O_2 โดยกดปุ่ม O_2 Fill เครื่องจะเติม O_2 เองโดยอัตโนมัติ ใช้เวลาประมาณ 60 วินาที เมื่อเสร็จสิ้นการทดลอง ก่อนจะปิดเครื่อง bomb ให้ drain O_2 ที่ค้างอยู่ในระบบออกให้หมดโดยปิดวาล์วที่ถังแก๊สก่อน แล้วกดปุ่ม O_2 Fill และ Reset

9) เติมน้ำลงใน bucket โดยใช้น้ำกลั่น 2000 ml (ไขออกมาจากเครื่องบรรจุน้ำกลั่นซึ่งผ่านการควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติแล้ว) นำ bucket ที่บรรจุน้ำ วางลงในเครื่องให้ถูกต้องตรงกับตำแหน่งที่กำหนดไว้ นำ combustion bomb วางใน bucket ต่อไฟฟ้าให้ครบวงจรแล้วปิดฝา calorimeter (การทดลองทุกครั้งต้องเปลี่ยนน้ำใหม่ น้ำที่ใช้แล้วเทกลับคืนลงในถังบรรจุน้ำกลั่น เพื่อควบคุมอุณหภูมิไว้ใช้ต่อไปอีก)

10) เลือก Mode ของการทดลองให้ถูกต้อง ถ้าหาความจุความร้อนของระบบใช้สารมาตรฐานคือกรดเบนโซอิก ให้เลือก Mode เป็น STD ถ้าหาความร้อนของการเผาไหม้ของสารตัวอย่าง ให้เลือก Mode เป็น DETR การเลือก Mode ทำได้โดยกด shift แล้วกด F2 จนได้ Mode ที่ต้องการ (ในตอนนี้ใช้ Mode เป็น STD)

11) เริ่มทดลองหาการเผาไหม้โดยกด Start ไฟที่ Cal ID จะติดและกระพริบ ให้ใส่ number ของ Cal ID mจะใช้ลงไปแล้วกด Enter ไฟจะติดที่ Sample ID ให้ใส่ number ของ Sample ID ลงไปแล้วกด Enter (ถ้า number ซ้ำกับที่ทำไปแล้ว จะมี error เกิดขึ้น ให้กด clear แล้วใส่ number ใหม่ลงไป) ต่อไป ไฟจะติดที่ weight ให้ใส่น้ำหนักที่ถูกต้องลงไป แล้วกด Enter

12) เครื่องจะเริ่ม test run โดยไฟจะติดที่ Pre เครื่องจะหาจุดอุณหภูมิคงที่และจะ Alarm จากนั้นจะเริ่ม bomb โดยไฟจะติดที่ Post หลังจาก Firing 3-4 นาที จะเผาไหม้เสร็จ เครื่องจะมีเสียง Alarm เตือนอีกครั้ง และจะปรากฏค่า EE (ความจุความร้อนของระบบ) ขึ้นที่หน้าจอ

13) นำ combustion bomb ออกจากเครื่อง ปล่อย O_2 ที่เหลือออกจาก combustion bomb เปิดฝา bomb นำ fuse wire ที่เหลือจากการเผาไหม้ออกมาวัดความยาว คำนวณความยาวของ fuse wire ที่เผาไหม้ไป

14) กด Skip เพื่อใส่ค่าต่างๆ ตามลำดับ

ใส่ค่า fuse wire (ความร้อนจากการเผาไหม้ fuse wire ในข้อ 13)

ใส่ค่า Acid (ความร้อนจากการเกิด HNO_3 ถ้าไม่ได้ทดลองให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ Acid=10 cal)

ใส่ค่า Sulfur (ความร้อนจากการเผาไหม้ของ Sulfur ในที่นี้Sulfur = 0 cal เพราะสารตัวอย่างไม่มี Sulfur)

เมื่อใส่ข้อมูลแต่ละครั้งต้องกด Enter และเมื่อใส่ครบแล้วให้กด Done เครื่องจะ memory ไว้ และคำนวณค่า EE ของระบบให้ (พิมพ์ออกทาง printer)

<u>หมายเหตุ</u> ในระหว่างทดลองข้อ 13 ห้ามแก้ไขหรือกระทำใดๆ ที่หน้าจอ เพราะกระบวนการทดลองยังไม่เสร็จ หลังจากทำข้อ 14 แล้วจึงแก้ไขหน้าจอได้ตามต้องการ

ตอนที่ 2 หาความร้อนของการเผาไหม้สารตัวอย่าง

ทดลองเหมือนกับ ตอนที่ 1 เพียงแต่เปลี่ยนจาก กรดเบนโซอิก เป็นสารตัวอย่าง (ใช้ประมาณ 0.8 – 1 กรัม)

ขณะที่เครื่องอยู่ที่ standby ให้ทดลองต่อได้ทันที โดยเริ่มต้นจากข้อ 5)

ข้อ 10) ให้เลือก Mode เป็น DETR (กด shift แล้วกด F2 จนได้ Mode เป็น DETR)

ข้อ 11) ให้ใส่ cal ID ให้ถูกต้อง ตรงกับที่กำหนดไว้ในตอนที่ 1 ถ้าใส่ผิด เครื่องจะหาค่า EE ไม่พบ แล้วนำไปคำนวณผิดพลาด

ข้อ 14) หลังจากใส่ข้อมูลเพิ่มเติมครบแล้ว เครื่องจะคำนวณและพิมพ์ค่า Gross Heat (ความร้อนของการเผาไหม้) ของสารตัวอย่างให้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางภาคผนวก ข-1 ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ กันในสัปดาห์เริ่มต้น (ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างหอยตัวอย่างละ 30 ตัว)

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
0	1	35	3.8	1.17	0.30
0	2	35	3.8	1.20	0.32
0	3	35	3.8	1.12	0.26
0	4	35	3.8	1.14	0.29
0	1	35	4	1.15	0.30
0	2	35	4	1.15	0.29
0	3	35	4	1.16	0.29
0	4	35	4	1.16	0.30
0	1	35	4.2	1.13	0.27
0	2	35	4.2	1.16	0.29
0	3	35	4.2	1.19	0.30
0	4	35	4.2	1.16	0.30
0	1	40	3.8	1.15	0.28
0	2	40	3.8	1.17	0.30
0	3	40	3.8	1.19	0.30
0	4	40	3.8	1.17	0.28
0	1	40	4	1.15	0.28
0	2	40	4	1.20	0.31
0	3	40	4	1.14	0.28
0	4	40	4	1.14	0.26
0	1	40	4.2	1.14	0.29
0	2	40	4.2	1.15	0.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
0	3	40	4.2	1.15	0.28
0	4	40	4.2	1.15	0.29
0	1	45	3.8	1.14	0.28
0	2	45	3.8	1.16	0.30
0	3	45	3.8	1.16	0.32
0	4	45	3.8	1.14	0.28
0	1	45	4	1.15	0.29
0	2	45	4	1.16	0.30
0	3	45	4	1.14	0.29
0	4	45	4	1.14	0.27
0	1	45	4.2	1.15	0.31
0	2	45	4.2	1.19	0.34
0	3	45	4.2	1.16	0.31
0	4	45	4.2	1.16	0.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ข-2 ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ กันเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างหอยตัวอย่างละ 30 ตัว)

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
4	1	35	3.8	1.42	0.58
4	2	35	3.8	1.59	0.78
4	3	35	3.8	1.47	0.67
4	4	35	3.8	1.35	0.51
4	1	35	4	1.50	0.72
4	2	35	4	1.52	0.71
4	3	35	4	1.53	0.76
4	4	35	4	1.54	0.76
4	1	35	4.2	1.59	0.80
4	2	35	4.2	1.43	0.62
4	3	35	4.2	1.56	0.76
4	4	35	4.2	1.33	0.51
4	1	40	3.8	1.58	0.75
4	2	40	3.8	1.61	0.81
4	3	40	3.8	1.46	0.65
4	4	40	3.8	1.41	0.57
4	1	40	4	1.47	0.64
4	2	40	4	1.53	0.74
4	3	40	4	1.47	0.67
4	4	40	4	1.56	0.80
4	1	40	4.2	1.60	0.81
4	2	40	4.2	1.48	0.67
4	3	40	4.2	1.46	0.63
4	4	40	4.2	1.53	0.74

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
4	1	45	3.8	1.42	0.60
4	2	45	3.8	1.35	0.49
4	3	45	3.8	1.50	0.67
4	4	45	3.8	1.48	0.65
4	1	45	4	1.35	0.54
4	2	45	4	1.43	0.61
4	3	45	4	1.34	0.51
4	4	45	4	1.40	0.60
4	1	45	4.2	1.48	0.67
4	2	45	4.2	1.43	0.58
4	3	45	4.2	1.54	0.72
4	4	45	4.2	1.53	0.72

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ข-3 ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ กันเป็นเวลา 8 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างหอยตัวอย่างละ 30 ตัว)

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
8	1	35	3.8	1.70	0.96
8	2	35	3.8	1.89	1.30
8	3	35	3.8	1.86	1.27
8	4	35	3.8	1.74	0.99
8	1	35	4	1.89	1.29
8	2	35	4	1.91	1.35
8	3	35	4	1.87	1.34
8	4	35	4	1.95	1.42
8	1	35	4.2	1.92	1.35
8	2	35	4.2	1.85	1.18
8	3	35	4.2	1.83	1.18
8	4	35	4.2	1.73	0.98
8	1	40	3.8	1.92	1.37
8	2	40	3.8	1.98	1.48
8	3	40	3.8	1.83	1.20
8	4	40	3.8	1.74	1.05
8	1	40	4	1.88	1.24
8	2	40	4	1.87	1.28
8	3	40	4	1.86	1.22
8	4	40	4	1.91	1.41
8	1	40	4.2	1.96	1.47
8	2	40	4.2	1.81	1.11
8	3	40	4.2	1.83	1.19
8	4	40	4.2	1.90	1.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
8	1	45	3.8	1.80	1.15
8	2	45	3.8	1.66	0.94
8	3	45	3.8	1.82	1.22
8	4	45	3.8	1.86	1.24
8	1	45	4	1.62	0.85
8	2	45	4	1.79	1.07
8	3	45	4	1.70	0.99
8	4	45	4	1.77	1.04
8	1	45	4.2	1.84	1.24
8	2	45	4.2	1.77	1.06
8	3	45	4.2	1.80	1.11
8	4	45	4.2	1.81	1.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ข-4 ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ กันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างหอยตัวอย่างละ 30 ตัว)

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
12	1	35	3.8	1.96	1.56
12	2	35	3.8	2.11	1.89
12	3	35	3.8	2.19	1.92
12	4	35	3.8	2.05	1.58
12	1	35	4	2.20	2.07
12	2	35	4	2.28	2.25
12	3	35	4	2.22	2.15
12	4	35	4	2.24	2.20
12	1	35	4.2	2.21	2.15
12	2	35	4.2	2.15	1.84
12	3	35	4.2	2.07	1.73
12	4	35	4.2	2.07	1.65
12	1	40	3.8	2.22	2.09
12	2	40	3.8	2.27	2.22
12	3	40	3.8	2.20	1.98
12	4	40	3.8	2.08	1.65
12	1	40	4	2.19	2.02
12	2	40	4	2.13	1.92
12	3	40	4	2.17	1.94
12	4	40	4	2.17	2.10
12	1	40	4.2	2.25	2.29
12	2	40	4.2	2.08	1.75
12	3	40	4.2	2.13	1.84
12	4	40	4.2	2.21	2.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
12	1	45	3.8	2.08	1.73
12	2	45	3.8	1.96	1.50
12	3	45	3.8	2.07	1.89
12	4	45	3.8	2.14	1.97
12	1	45	4	1.94	1.42
12	2	45	4	2.05	1.68
12	3	45	4	2.06	1.66
12	4	45	4	2.02	1.66
12	1	45	4.2	2.10	1.82
12	2	45	4.2	2.04	1.66
12	3	45	4.2	2.09	1.80
12	4	45	4.2	2.09	1.78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางภาคผนวก ข-5 ความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยของหอยหวานที่เลี้ยงด้วยอาหารที่ระดับโปรตีนและพลังงานต่างๆ กันเป็นเวลา 16 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ยจากตัวอย่างหอยตัวอย่างละ 30 ตัว)

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
16	1	35	3.8	2.13	2.06
16	2	35	3.8	2.25	2.28
16	3	35	3.8	2.36	2.62
16	4	35	3.8	2.17	2.04
16	1	35	4	-*	-*
16	2	35	4	2.46	2.96
16	3	35	4	2.45	2.84
16	4	35	4	-*	-*
16	1	35	4.2	2.58	3.06
16	2	35	4.2	2.39	2.58
16	3	35	4.2	-*	-*
16	4	35	4.2	2.26	2.20
16	1	40	3.8	-*	-*
16	2	40	3.8	2.47	2.93
16	3	40	3.8	2.37	2.57
16	4	40	3.8	2.19	2.08
16	1	40	4	2.41	2.70
16	2	40	4	2.40	2.66
16	3	40	4	2.29	2.46
16	4	40	4	-*	-*
16	1	40	4.2	2.44	2.89
16	2	40	4.2	2.25	2.28
16	3	40	4.2	-*	-*
16	4	40	4.2	2.40	2.79
16	1	45	3.8	-*	-*

สัปดาห์	จำนวนซ้ำ	ระดับโปรตีน (เปอร์เซ็นต์)	ระดับพลังงาน (กิโลแคลอรีต่อกรัม)	ความยาวเปลือกเฉลี่ย (เซนติเมตร)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
16	2	45	3.8	2.14	1.99
16	3	45	3.8	2.26	2.33
16	4	45	3.8	2.32	2.45
16	1	45	4	2.03	1.84
16	2	45	4	2.22	2.13
16	3	45	4	2.25	2.23
16	4	45	4	2.21	2.15
16	1	45	4.2	2.34	2.83
16	2	45	4.2	2.19	2.15
16	3	45	4.2	2.21	2.08
16	4	45	4.2	2.30	2.26

หมายเหตุ * ไม่สามารถหาค่าความยาวเปลือกและน้ำหนักเฉลี่ยได้ เนื่องจากเกิดอุบัติเหตุทำให้หอยหวานที่ใช้ในการทดลองตายทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชิดชนก รอดเรือง เกิดเมื่อวันที่ 2 มีนาคม พ.ศ.2527 ที่จังหวัดสุพรรณบุรี สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาที่โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี ในปีการศึกษา 2545 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจาก ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิตที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549 โดยในระหว่างการศึกษาได้มีการนำเสนอผลงานดังนี้

- นำเสนอผลงานทางวิชาการ (oral presentation) เรื่อง สัดส่วนโปรตีนต่อไขมันที่เหมาะสมสำหรับหอยหวาน *Babylonia areolata* ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์ทางทะเล 2551 ในระหว่างวันที่ 25 – 27 สิงหาคม 2551 ณ โรงแรมเมโทรโพล ภูเก็ต

- นำเสนอผลงานทางวิชาการ (oral presentation) เรื่อง Optimal protein:energy ratio for growth of spotted babylon, *Babylonia areolata* ในการสัมมนา13th BIOLOGICAL SCIENCES GRADUATE CONGRESS 2008 ณ มหาวิทยาลัย National University of Singapore ประเทศสิงคโปร์ ระหว่างวันที่ 15 – 17 ธันวาคม 2551

- นำเสนอผลงานทางวิชาการ (poster presentation) เรื่องสัดส่วนโปรตีนต่อไขมันที่เหมาะสมต่อการเติบโตของหอยหวาน *Babylonia areolata* ในการประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47 ณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ระหว่างวันที่ 17 – 20 มีนาคม 2552

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย